

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин,
С. А. Векшинский, акад. Б. А. Казанский, акад. А. Н. Колмогоров
(главного редактора), акад. С. А. Лебедев, акад. К. И. Опарин (главный редактор),
Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов,
акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

27-й ГОД ИЗДАНИЯ

1959

Том 127

ИЮЛЬ — АВГУСТ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА

Digitized by the Internet Archive
in 2023

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. С. А. Векшинский, акад. Б. А. Казанский, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного редактора), акад. С. А. Лебедев, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов, акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

27-й ГОД ИЗДАНИЯ

1959

ТОМ 127, № 1

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

	Стр.
В. И. Близникас. К теории кривых метрического пространства линейных элементов	9
М. И. Граев. О неприводимых унитарных представлениях некоторых классов вещественных простых групп Ли	13
Е. Б. Дынкин. Естественная топология и эксцессивные функции, связанные с марковским процессом	17
В. М. Иванова и А. А. Иванов. Пространства смежности и бикомпактные расширения топологических пространств	20
В. А. Ильин. Разрешимость смешанной задачи для гиперболического и параболического уравнений в произвольном нормальном цилиндре	23
А. С. Калашников. Построение обобщенных решений квазилинейных уравнений первого порядка без условия выпуклости как пределов решений параболических уравнений с малым параметром	27
М. М. Лаврентьев. Об интегральных уравнениях первого рода	31
С. Н. Слугин. Двусторонняя оценка решения линейного функционального уравнения	34
М. З. Соломяк. Аналитичность полугруппы, порожденной эллиптическим оператором в пространствах L_p	37
К. М. Фишман. К вопросу о линейных преобразованиях аналитических пространств	40
Ю. И. Янов и А. А. Мучник. О существовании k -значных замкнутых классов, не имеющих конечного базиса	44

МЕХАНИКА

Г. И. Баренблатт. О равновесных трещинах, образующихся при хрупком разрушении	47
Н. Н. Моисеев. К теории упругих колебаний тела с жидкостью	51

ГИДРОМЕХАНИКА

Г. Я. Галин. К теории ударных волн	55
Я. М. Котляр. Об одной возможности получения в замкнутой форме точных интегралов уравнения Рейнольдса	59

А. А. Зайцев и М. Я. Васильева. Исследование формирования подвижных слоев методом возмущений	63
Ж. Такибасв. О роли антинуклонов и мезонов во вторичных взаимодействиях в области высоких энергий	67

ГЕОФИЗИКА

В. А. Бурков и М. Н. Кошляков. О динамическом балансе в поле глубинных течений Тихого океана	70
Ю. А. Иванов. О сезонной изменчивости Антарктического циркумполярного течения	74
В. И. Красовский, И. С. Шкловский, Ю. И. Гальперин и Е. М. Светлицкий. Обнаружение в верхней атмосфере с помощью третьего спутника электронов с энергией около 10 кэв	78
А. П. Никольский. Солнечные протоны как причина утренних и ночных магнитных возмущений в высоких широтах	82

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. С. Иванова. Новая закономерность усталостного разрушения металлов	86
--	----

ХИМИЯ

И. Ф. Бельский и Н. И. Шуйкин. Каталитическая изомеризация δ -окисей (тетрагидропиранов) в алифатические карбонильные соединения	91
А. Н. Башкиров, М. М. Потарин и В. В. Камзолкин. Синтез высших кетонов методом жидкофазного окисления вторичных спиртов	93
В. Р. Лонгворт, И. Г. Плеш и П. П. Рутерфорд. Механизм катионных полимеризаций под влиянием галоидометаллов	97
А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев и Е. Б. Людвиг. К вопросу о механизме иницирования катионной полимеризации в присутствии галогенидов металлов	100
Н. А. Измайлов. Единая шкала кислотности	104
Т. А. Кудрявцева, Н. М. Чирков и Н. К. Кочетков. Кинетика реакции нуклеофильного замещения хлора в фенил- β -хлорвинилкетоне	108
Р. Я. Левина, Ю. С. Шабаров и М. Г. Кузьмин. Циклопропаны и циклобутаны. О разложении алкилтетрагидропиридазинов	111
А. Н. Несмеянов, Л. А. Казицына, И. Ф. Луценко и Г. А. Руденко. Спектроскопическое исследование α -металлированных альдегидов и кетонов и винилата лития	115
А. В. Николаев и Н. М. Сеницын. Экстракция нитрозонитрата рутения эфирами бутилфосфиновых кислот	117
В. И. Спицын, Л. Н. Комиссарова и З. А. Владимирова. Вольфраматы циркония и гафния	120

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Ко всем научным работникам СССР, проводящим работы, связанные с измерением тепловых величин	стр. 4 обложки
В. Л. Антоновский и И. В. Березин. Определение отношения констант скоростей отрыва метильным радикалом атомов трития <i>n</i> -гептанов	124
В. М. Вдовенко и В. А. Щербаков. Парамагнетизм радиоактивных растворов	127
Л. Н. Гальперин, В. М. Мальцев и П. Ф. Похил. Измерение температуры пламен конденсированных систем	131
В. И. Иванов-Омский и Б. Т. Коломиец. Зависимость ширины запрещенной зоны от состава твердого раствора в системе InSb — GaSb	135
С. М. Когарко, М. И. Девишев и В. Я. Басевич. Исследование влияния активных частиц продуктов реакции на процессы горения в потоке	137
Н. А. Кротова и Л. П. Морозова. Исследование диффузионных процессов в адгезии полимеров люминесцентным методом	141
Е. Н. Харьковская, Г. К. Боресков и М. Г. Слинько. Кинетика реакции взаимодействия водорода с кислородом на платине	145
А. Шелудко и Д. Эксерова. Об электростатическом отталкивании между диффузными электрическими слоями в двусторонних жидких пленках	149

ГЕОЛОГИЯ

Г. А. Булкин. Схема районирования аллювиально-делювиальных отложений западной части Горного Крыма по их минеральным ассоциациям	152
Г. М. Власов и В. А. Ярмолюк. Структурно-тектонические районы Камчатки	156
В. К. Голубцов и Г. И. Кедо. К находке отложений яснополянского подъяруса нижнего карбона в Черниговской опорной скважине	159
Н. И. Гриднев. Фации четвертичных отложений надводной дельты Аму-Дарьи	162

И. А. Коробков и Р. К. Макарова. К стратиграфии палеогеновых отложений низовьев Аму-Дарьи в связи с новыми находками моллюсков	166
В. М. Моралев. Возраст ультраосновных и щелочных пород Алданского щита	168
С. В. Москалева. О возрасте и структуре массива Крака на Южном Урале	170
Э. А. Северов и Э. И. Тихомирова. Кайнозойские базальты на южном склоне Монгольского Алтая	173
В. И. Тихонов. Схема тектоники южной части п-о. Камчатки	176
Ю. Ф. Чемяков. Древние поверхности денудационного выравнивания Приамурья и сопредельных территорий	180
В. И. Шевченко. Мосоловский горизонт Сталинградской области	184

ЛИТОЛОГИЯ

А. В. Копелиович. О происхождении свинцово-цинковой минерализации в древних толщах юго-запада Русской платформы	186
---	-----

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Ю. В. Тесленко. Некоторые закономерности распространения цикадофитов в юре Сибири	191
---	-----

БИОХИМИЯ

В. А. Аксенова. Об окислительном аппарате гриба <i>Phytophthora infestans</i> . .	194
В. Б. Евстигнеев и В. А. Гаврилова. Изучение механизма фотосенсибилизации окислительно-восстановительных реакций хлорофиллом в растворах путем измерения электропроводности	198
Е. Сидорова. Нарушение синтеза мочевины в организме мышей при недостаточности витамина В ₆ , вызванной повторным введением изоникотиноилгидразида	202
В. В. Юркевич. Об отношении дрожжевых клеток к β -амилазе	206

БОТАНИКА

О. П. Шершукова. Число хромосом у <i>Ulmus pinnato-ramosa</i> Dieck. et Koehne	210
--	-----

АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

Л. А. Лебенко. Онтогенез древесины корней и стволов некоторых представителей букцветных	213
---	-----

ЭМБРИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. Н. Полунина и А. И. Свешников. Микрокино съемка при изучении пыльцы и пыльцевых трубок некоторых амариллисовых	217
---	-----

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

П. А. Генкель и Г. М. Живухина. Процесс обособления протоплазмы как вторая фаза закаливания озимых пшениц	220
А. М. Овеснов и А. А. Щекина. О влиянии подземных частей пырея и осота на прорастание семян луговых трав	224

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

О. П. Кулаковская. Стадии развития цестоды <i>Bathybothrium rectanculum</i> в организме усаца в разные сезоны года	227
А. Н. Скрынник. Места обитания и зараженность спирохетами клещей <i>Ornithodoros pereensis</i> Pavl.	230

CONTENTS

MATHEMATICS

Pages

V. I. Bliznikas. On theory of curves in a metric space of linear elements	9
M. I. Graev. Irreducible unitary representations of certain classes of simple real Lie groups	13
E. B. Dynkin. Natural topology and excessive functions connected with Markoff's process	17
V. M. Ivanova and A. A. Ivanov. Contiguity spaces and bicomact extensions of topological spaces	20

	<i>Pages</i>
V. A. Il'in. Solvability of the mixed problem for a hyperbolic and a parabolic equation in an arbitrary normal cylinder	23
A. S. Kalashnikov. The construction of generalized solutions to quasilinear first order equations without convexity condition as limits of solutions to parabolic equations with a small parameter	27
M. M. Lavrentiev. On integral equations of the first order	31
S. N. Slugin. A two-sided estimate of the solution to a linear functional equation	34
M. Z. Solomiak. The analytic nature of the semigroup generated by an elliptic operator in L_p spaces	37
K. M. Fishman. On linear transformations of analytical spaces	40
Iu. I. Janov and A. A. Muchnik. On the existence of k -valued closed classes having no finite basis	44
<i>MECHANICS</i>	
G. I. Barenblatt. Equilibrium cracks formed on brittle fracture	47
N. N. Moiseev. On theory of elastic oscillations of a solid containing a liquid	51
<i>FLUID MECHANICS</i>	
G. J. Galin. On theory of shock waves	55
J. M. Kotliar. On a possibility of obtaining the exact integrals of Reynolds equation in closed form	59
<i>PHYSICS</i>	
A. A. Zaitsev and M. J. Vasilieva. The use of the perturbation method in studying the formation of movable layers	63
Zh. Takibaev. On rôle of antinucleons and mesons in secondary interactions within high energy range	67
<i>GEOPHYSICS</i>	
V. A. Burkov and M. N. Koshliakov. Dynamic balance in the deep current field of the Pacific	70
Iu. A. Ivanov. Seasonal variations of the Antarctic circumpolar current	74
V. I. Krasovskii, I. S. Shklovskii, Iu. I. Galperin and E. M. Svetlitzkii. Discovery of about 10-kev electrons in the upper atmosphere by means of the third Soviet earth satellite	78
A. P. Nikol'skii. Solar protons as responsible for morning and night magnetic perturbations in high latitudes	82
<i>TECHNICAL PHYSICS</i>	
V. S. Ivanova. A new law in the fatigue failure of metals	86
<i>CHEMISTRY</i>	
I. F. Bel'skii and N. I. Shuikin. Catalytic isomerization of δ -oxides (tetrahydropyrans) to aliphatic carbonyl compounds	91
A. N. Bashkirov, M. M. Potarin and V. V. Kamzolkin. The synthesis of higher ketones by means of liquid-phase oxidation of secondary alcohols	93
V. R. Longworth, P. G. Plesh and P. P. Ruterford. Mechanism of cationic polymerizations due to the influence of halides	97
A. R. Gantmacher, S. S. Medvedev and E. B. Ludvig. On the initiation mechanism of cationic polymerization in the presence of halides	100
N. A. Izmailov. Unified acidity scale	104
T. A. Kudriavtzeva, N. M. Chirkov and N. K. Kochetkov. The reaction kinetics of a nucleophile substitution of chlorine in phenyl- β -chlorovinylketone	108
R. J. Levina, Iu. S. Shabarov and M. G. Kuzmin. Cyclopropanes and cyclobutanes. On the decomposition of alkyltetrahydropyridazines	111
A. N. Nesmeyanov, L. A. Kazitsyna, I. F. Lutsenko and G. A. Rudenko. A spectroscopic study of α -metalated aldehydes and ketones and lithium vinylate	115
A. V. Nikolaev and N. M. Sinitsyn. The extraction of ruthenium nitrosonitrate by butylphosphinic esters	117
V. I. Spitsyn, L. N. Komissarova and Z. A. Vladimirova. Tungstates of zirconium and hafnium	120
<i>PHYSICAL CHEMISTRY</i>	
V. L. Antonovskii and I. V. Berezin. Determination of the ratio of reaction rate constants when tritium atoms in H-heptane are torn off by the methyl radical	124
V. M. Vdovenko and V. A. Sherbakov. Paramagnetism of radioactive solutions	127
L. N. Gal'perin, V. M. Mal'tsev and P. F. Pokhil. Measurement of the flame temperature of condensed systems	131

V. I. Ivanov-Omskii and B.T. Kolomiets. The dependence of the forbidden zone width on the composition of the solid solution in the InSb — GaSb system	135
S. M. Kogarko, M.I. Devishev and V. J. Basevich. An investigation of the influence of active particles in reaction products upon the burning processes in a flow	137
N. A. Krotova and L. P. Morozova. Diffusion processes in the adhesion of polymers, investigated by the use of luminescence	141
E. N. Kharkovskaia, G. K. Boreskov and M. G. Slinko. The kinetics of the reaction between hydrogen and oxygen on platinum	145
A. Sheludko and D. Ekserova. Electrostatic repulsion between diffuse electric layers in bilateral liquid films	149

GEOLOGY

G. A. Bulkin. A diagram of distribution of alluvial-deluvial deposits of the western part of Mountainous Crimea according to their mineral associations	152
G. M. Vlasov and V. A. Yarmoliuk. The structural-tectonic regions of the Kamchatka peninsula	156
V. K. Golubtsov and G. I. Kedo. On the found of deposits of the Yasnopoliansky substage of the Lower Carboniferous in the Chernigov deep well	159
N. I. Grednev. The facies of quaternary deposits of the superaqueous delta of the Amu-Darya river	162
I. A. Korobkov and R. K. Makarova. The stratigraphy of Paleogene deposits of the lower reaches of the Amu-Darya river, in the light of some recent finds of mollusks	166
V. M. Moralev. The geologic age of ultrabasic and alkaline rocks of the Aldanian shield	168
S. V. Moskaleva. On the age and structure of the Krak massive in the South Urals	170
E. A. Severov and E. I. Tikhomirova. Cenozoic basalts on the southern slope of the Mongolian Altai	173
V. I. Tikhonov. A diagram of the tectonic conditions in the southern part of Kamchatka peninsula	176
Iu. F. Chemekov. Ancient surfaces of denudation levelling in the Priamurye and the contiguous territories	180
V. I. Shevchenko. The Mosolov horizon of the Stalingrad region	184

GEOLOGY

A. V. Kopeliovich. On the origin of lead zinc mineralization in ancient strata of the south-west of the Russian platform	186
--	-----

PALEONTOLOGY

Iu. V. Teslenko. Certain regularities in the distribution of Cycadophytes in the Jurassic of Siberia	191
--	-----

BIOCHEMISTRY

V. A. Aksenova. On the oxidizing apparatus of the fungus <i>Phytophthora infestans</i>	194
V. B. Evstigneev and V. A. Gavrilova. The investigation of the mechanism of photosensibilization of oxidation-reduction reactions by chlorophyll in solutions by measuring their electroconductivity	198
E. Sidorova. On the disturbance of synthesis in mice with vitamin B ₆ induced by repeated administration of isonicotinylhydrazide	202
V. V. Iurkevich. On the relation of yeast cells to β -amylase	206

CYTOTAXY

O. P. Shershukova. Chromosome number in <i>Ulmus pinnato-ramosa</i> Dieck. et Kochne	210
--	-----

PLANT ANATOMY

L. A. Lebedenko. The ontogeny of root and stem wood in certain representatives of Fagales	213
---	-----

PLANT EMBRYOLOGY

N. N. Polunina and A. I. Sveshnikov. Microfilming in the study of the pollen and pollen tubes of certain Amaryllidaceae	217
---	-----

- P. A. Genkel' and G. M. Zhivirkhina. The process of protoplasm isolation as the second phase of winter wheat hardening 220
- A. M. Ovesnov and A. A. Shchekina. On the influence of underground organs of Agropyrum and sonchus upon seed germination in meadow grasses 224

PARASITOLOGY

- O. P. Kulakovskaya. The development stages of Bathybothrium rectangulum (Bloch, 1782) in the organism of Barbus barbus in the different seasons of the year 227
- A. N. Skrynnik. The habitats of the ticks Ornitodorus nereensis Pavl., and their infestation with Spirochaeta 230

В. И. БЛИЗНИКАС

К ТЕОРИИ КРИВЫХ МЕТРИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(Представлено академиком П. С. Александровым 20 III 1959)

Пространство линейных элементов с заданным полем симметрического ковариантного тензора второй валентности, дискриминант которого отличен от нуля, называется метрическим пространством линейных элементов (предполагается, что $g_{ij}u^i u^j$ положительно-определенная).

1. Рассмотрим следующее продолжение бесконечной группы G ⁽¹⁾

$$\begin{aligned} D\omega^i &= [\omega^k, \omega_k^i] \quad (i, j, k = 1, 2, \dots, n; \alpha, \beta, \gamma = 2, 3, \dots, n), \\ D\omega_j^i &= [\omega_j^k, \omega_k^i] + [\omega_{jk}^i, \omega_k^i], \\ D\omega_{jk}^i &= [\omega_{jk}^l, \omega_l^i] - [\omega_{kl}^i, \omega_j^l] - [\omega_{jl}^i, \omega_k^l] + [\omega_{jkl}^i, \omega_l^i], \end{aligned} \quad (1)$$

где формы ω_{jk}^i и ω_{jkl}^i симметричны по всем нижним индексам. Система $\omega^i = 0$ вполне интегрируема и ее первые интегралы образуют пространство представления группы — пространство точек (А). Нам нужно получить представление, преобразующее точку, направление и метрику, т. е. квадратичную форму $g_{ij}\omega^i\omega^j$. Так как

$$D\omega^i \equiv 0, \quad D\omega_j^i \equiv [\omega_j^k, \omega_k^i] \pmod{\omega^i},$$

то с каждой точкой А пространства (А) можно связать центроаффинное пространство A_n и построить в нем такой аффинный репер $\{A, e_i\}$, что формы ω_k^i будут коэффициентами разложения репера, бесконечно близкого к исходному, из совокупности реперов с общей вершиной

$$de_i \equiv \omega_i^k e_k \pmod{\omega^i}. \quad (2)$$

Пфаффовы формы ω^i можно принять за координаты вектора dA :

$$dA = \omega^i e_i. \quad (3)$$

Возьмем направление $v^i e_i$, проходящее через точку А. При помощи канонизации репера можно вектор $v_i e^i$ совместить с e_1 ⁽²⁾. Условие инвариантности линейного элемента (А, e_1): $\omega^i = 0$, $\omega_1^\alpha = 0$. Эта система вполне интегрируема и ее первые интегралы определяют пространство представления группы — пространство линейных элементов. Условие локальной инвариантности квадратичной формы $g_{ij}\omega^i\omega^j$ можно записать в виде $\nabla g_{ij} = dg_{ij} - g_{kj}\omega_i^k - g_{ik}\omega_j^k \equiv 0 \pmod{\omega^i, \omega_1^\alpha}$. Для того чтобы задать метрическое пространство линейных элементов, нужно задать метрику как функцию точки и направления или задать формы ∇g_{ij} линейными комбинациями форм $\omega^i, \omega_1^\alpha$:

$$\nabla g_{ij} = g_{ij,k} \omega^k + g'_{ij,\alpha} \omega_1^\alpha. \quad (4)$$

Это определяющая система уравнений метрического пространства линейных элементов.

2. Пользуясь инвариантным аналитическим методом Г. Ф. Лаптева ⁽³⁾ — А. М. Васильева ⁽⁴⁾ дифференциально-геометрических исследований, основанным на исчислении внешних дифференциальных форм Картана и теории представлений бесконечных групп, можно получить последовательность фундаментальных объектов метрического пространства линейных элементов.

3. Определим формы связности в метрическом пространстве линейных элементов следующим образом:

$$\tilde{\omega}_j^i = \omega_j^i + \Gamma_{jk}^i \omega^k + C_{j\alpha}^i \omega_1^\alpha, \quad \Gamma_{1k}^\alpha = 0, \quad C_{1\beta}^\alpha = 0 \quad (5)$$

и потребуем, чтобы эта связность была метрической, т. е. чтобы $\tilde{\nabla} g_{ij} = 0$, или $g_{ij,k} - g_{ij} \Gamma_{ik}^l - g_{il} \Gamma_{jk}^l = 0$, $g'_{ij,k} - g_{ij} C_{ik}^l - g_{il} C_{jk}^l = 0$, $g'_{ij,1} = C_{i1}^l = 0$. (6)

Решение первой системы (6) имеет вид

$$\Gamma_{(ik)}^l = \frac{1}{2} g^{il} (g_{ij,k} + g_{jk,i} - g_{ki,j}) + g^{il} (g_{ip} \Gamma_{[jk]}^p + g_{pk} \Gamma_{[ij]}^p), \quad (7)$$

где $g^{il} g_{li} = \delta_i^l$. Аналогичные формулы получаются и для $C_{(ik)}^l$. Если произвольно задать $\Gamma_{[jk]}^p$ и $C_{[jk]}^p$, то симметрические части этих величин определяются через $g_{ij,k}$, $g'_{ij,k}$, $\Gamma_{[jk]}^p$ и $C_{[jk]}^p$ однозначно, следовательно, существует пучок метрических связностей. Этот пучок связностей более общий, чем полученный Моором ⁽⁵⁾.

4. Считая, что $\Gamma_{[jk]}^p$ и $C_{[jk]}^p$ заданы и пользуясь (5), можно первые два уравнения (1) представить в виде

$$D\omega^i = [\omega^i, \tilde{\omega}_j^i] - \Gamma_{[jk]}^i [\omega^j, \omega^k] - C_{j\alpha}^i [\omega^j, \omega_1^\alpha], \quad (8)$$

$$D\tilde{\omega}_j^i = [\tilde{\omega}_j^i, \tilde{\omega}_k^i] + R_{jpq}^i [\omega^p, \omega^q] + S_{j\alpha}^i [\omega^p, \omega_1^\alpha] + P_{j\alpha\beta}^i [\omega_1^\alpha, \omega_1^\beta],$$

где

$$R_{jpq}^i = \Gamma_{j[q,p]}^i - \Gamma_{j[p,q]}^k \Gamma_{kq}^i, \quad S_{j\alpha}^i = \Gamma_{jp,\alpha}^i - C_{j\alpha,p}^i - (\Gamma_{jp}^k C_{k\beta}^i - \Gamma_{kp}^j C_{j\beta}^i),$$

$$P_{j\alpha\beta}^i = C_{j[\alpha,\beta]}^i - C_{j[\alpha}^k C_{k\beta]}^i,$$

$$d\Gamma_{jk}^i - \Gamma_{jp}^i \omega_p^p - \Gamma_{pk}^j \omega_p^j + \Gamma_{jk}^p \omega_p^i + C_{j\alpha}^i \omega_1^\alpha + \omega_{jk}^i = \Gamma_{jk,p}^i \omega^p + \Gamma_{jk,\alpha}^i \omega_1^\alpha,$$

$$dC_{j\alpha}^i - C_{j\beta\alpha}^i \omega_1^\beta - C_{k\alpha}^i \omega_j^k + C_{j\alpha}^k \omega_k^i + C_{j\alpha}^i \omega_1^k = C_{j\alpha,p}^i \omega^p + C_{j\alpha,\beta}^i \omega_1^\beta.$$

Уравнения (8) — структурные уравнения метрического пространства линейных элементов метрической связности.

5. Под кривой метрического пространства линейных элементов естественно понимать однопараметрическое многообразие линейных элементов. Центры однопараметрического многообразия линейных элементов образуют одномерное многообразие точек, которое назовем центроидой рассматриваемой кривой. Возможны два случая: линейные элементы могут касаться центроиды и не касаться. Первую кривую назовем центроидальной кривой, а вторую — нецентроидальной.

Будем считать, что векторы e_α исходного репера локального касательного пространства A_n помещены в гиперплоскости, которая ортогональна к линейному элементу, т. е. $\omega_\alpha^1 = -\frac{g_{\alpha\beta}}{F} \omega_1^\beta$.

6. Центроидальные кривые. Так как в этом случае линейный элемент должен совпасть с направлением касательной к центроиде кривой, то из (3) следует, что $\omega^\alpha = 0$, и, продолжая ее, получим

$$\omega_1^\alpha = a^\alpha \omega^1. \quad (9)$$

оль центроиды — $ds = F\omega^1$, где $F = \sqrt{g_{11}}$ — основная метрическая функция ассоциированного пространства Финслера. Уравнения (9) можно переписать следующим образом:

$$\omega_1^\alpha = \lambda_{(2)}^\alpha ds, \quad \lambda_{(2)}^\alpha = \frac{d^\alpha}{F}. \quad (10)$$

Продолжая систему (10), получим $d\lambda_{(\varepsilon)}^\alpha + \lambda_{(\varepsilon)}^\beta \tilde{\omega}_\beta^\alpha - \lambda_{(\varepsilon)}^\alpha \tilde{\omega}_1^\alpha = \lambda_{(\varepsilon+1)}^\alpha ds$. Введем величины $\tilde{\lambda}_{(\varepsilon)}^\alpha = \frac{\lambda_{(\varepsilon)}^\alpha}{F}$, которые удовлетворяют системе дифференциальных уравнений

$$d\tilde{\lambda}_{(\varepsilon)}^\alpha + \tilde{\lambda}_{(\varepsilon)}^\beta \tilde{\omega}_\beta^\alpha = \tilde{\lambda}_{(\varepsilon+1)}^\alpha ds. \quad (11)$$

Величины $\tilde{\lambda}_{(\varepsilon)}^\alpha(\alpha, \varepsilon = 2, \dots, n)$ образуют фундаментальный дифференциально-метрический объект n -го порядка центроидальной кривой. В нормальной гиперплоскости этой кривой построим векторы $\vec{\Lambda}_\varepsilon = \tilde{\lambda}_{(\varepsilon)}^\alpha \mathbf{e}_\alpha$, инвариантно связанные с рассматриваемой кривой. Ограничимся рассмотрением общего случая, т. е. когда $\vec{\Lambda}_\varepsilon$ линейно независимы. Векторы

$$\vec{\lambda}_\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{\mathfrak{N}_{\varepsilon-1}\mathfrak{N}_\varepsilon}} \begin{vmatrix} \lambda_{22} \dots \lambda_{2, \varepsilon-1} \vec{\Lambda}_2 \\ \dots \dots \dots \\ \lambda_{\varepsilon 2} \dots \lambda_{\varepsilon, \varepsilon-1} \vec{\Lambda}_\varepsilon \end{vmatrix}, \quad (12)$$

и $\lambda_{\alpha\beta} = g_{\mu\nu} \tilde{\lambda}_{(\alpha)}^\mu \tilde{\lambda}_{(\beta)}^\nu$, $\mathfrak{N}_\alpha = \det(\lambda_{22}, \dots, \lambda_{\alpha\alpha})$, образуют ортонормированный базис в нормальной гиперплоскости, инвариантно связанный с линейным элементом рассматриваемой кривой. Итак, в касательном пространстве мы построили ортонормированный репер $\{\mathbf{A}\vec{\lambda}_i\}$, где $\vec{\lambda}_1 = \frac{\mathbf{e}_1}{F}$, для которого

$$d\vec{\lambda}_i = \theta_j \vec{\lambda}_j, \quad \theta_{ij} + \theta_{ji} = 0. \quad (13)$$

Так как $\frac{d\vec{\Lambda}_\varepsilon}{ds} = \vec{\Lambda}_\varepsilon - \frac{\lambda_{2\varepsilon}}{F} \vec{\lambda}_1$, то из (12) следует, что $d\vec{\lambda}_i$ принадлежит касательному пространству, натянутому на векторы $\vec{\lambda}_1, \dots, \vec{\lambda}_{i+1}$, и, в силу второго соотношения (13) получаем

$$d\vec{\lambda}_i = \theta_{i, i-1} \vec{\lambda}_{i-1} + \theta_{i, i+1} \vec{\lambda}_{i+1}. \quad (14)$$

Учитывая, что $\theta_{i, i-1} = (d\vec{\lambda}_i, \vec{\lambda}_{i-1})$, $\theta_{i, i+1} = (d\vec{\lambda}_i, \vec{\lambda}_{i+1})$, и найдя $d\vec{\lambda}_i$ из (12), $d\vec{\lambda}_1$ из соотношения $\vec{\lambda}_1 = \frac{\mathbf{e}_1}{F}$ и подставляя в (14), получаем дифференциальные формулы кривой

$$\frac{d\vec{\lambda}_i}{ds} = -\chi_{i-1} \vec{\lambda}_{i-1} + \chi_i \vec{\lambda}_{i+1}, \quad (15)$$

$$\chi_i = \frac{1}{\rho_i} = \frac{\sqrt{\mathfrak{N}_{i+1}\mathfrak{N}_{i-1}}}{\mathfrak{N}_i}, \quad \mathfrak{N}_0 = \mathfrak{N}_1 = 1, \quad \mathfrak{N}_{n+1} = 0.$$

Величину χ_p назовем p -й кривизной центроидальной кривой, а ρ_p — радиусом кривизны. Прямую локального касательного пространства, имеющую направление вектора $\vec{\lambda}_\nu$, назовем ν -й нормально центроидальной кривой, а вектор $\vec{\mathfrak{N}}_p = (\vec{\lambda}_1, \dots, \vec{\lambda}_p)$ — соприкасающимся p -вектором.

7. Нецентроидальные кривые. Дифференциальные уравнения центроидальной кривой можно записать в виде

$$\omega^i = l_{(1)}^i \theta, \quad \omega_1^\alpha = \lambda_{(2)}^\alpha \theta, \quad D\theta = 0. \quad (16)$$

Продолжая систему (16), получим

$$dl_{(p)}^i + l_{(p)}^i \tilde{\omega}_j^i = l_{(p+1)}^i \theta, \quad d\lambda_{(\varepsilon)}^\alpha + \lambda_{(\varepsilon)}^\beta \tilde{\omega}_\beta^\alpha - \lambda_{(\varepsilon)}^\alpha \tilde{\omega}_1^\alpha = \lambda_{(\varepsilon+1)}^\alpha \theta. \quad (17)$$

Величины $l_{(p)}^i$ и $\lambda_{(\varepsilon)}^\alpha$ образуют фундаментальный дифференциально-геометрический объект n -го порядка данной кривой. Вместо $\lambda_{(\varepsilon)}^\alpha$ введем $\tilde{\lambda}_{(\varepsilon)}^\alpha = \frac{\lambda_{(\varepsilon)}^\alpha}{F}$. В касательном пространстве построим векторы $\mathbf{L}_p = l_{(p)}^i \mathbf{e}_i$, инвариантно связанные с центроидой данной кривой, и в нормальной гиперплоскости линейного элемента $\vec{\Lambda}_\alpha = \tilde{\lambda}_{(\alpha)}^\beta \mathbf{e}_\beta$. Рассмотрим случай, когда $\det \|l_{(p)}^i\| \neq 0$ и $\det \|\lambda_{(\alpha)}^\beta\| = 0$. Введем векторы

$$\mathbf{l}_p = \frac{1}{\sqrt{N_p N_{p-1}}} \begin{vmatrix} l_{11} \dots l_{1, p-1} & \mathbf{L}_1 \\ \dots & \dots \\ l_{p1} \dots l_{p, p-1} & \mathbf{L}_p \end{vmatrix}, \quad \vec{\lambda}_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\mathfrak{N}_\alpha \mathfrak{N}_{\alpha-1}}} \begin{vmatrix} \lambda_{22} \dots \lambda_{2, \alpha-1} & \vec{\Lambda}_2 \\ \dots & \dots \\ \lambda_{\alpha 2} \dots \lambda_{\alpha, \alpha-1} & \vec{\Lambda}_\alpha \end{vmatrix},$$

где $l_{pq} = g_{ij} l_{(p)}^i l_{(q)}^j$, $N_p = \det \|l_{11} \dots l_{pp}\|$, $\lambda_{\alpha\beta} = g_{\mu\nu} \tilde{\lambda}_{(\alpha)}^\mu \tilde{\lambda}_{(\beta)}^\nu$, $\mathfrak{N}_\alpha = \det \|\lambda_{22} \dots \lambda_{\alpha\alpha}\|$. В касательном пространстве получаем два ортонормированных базиса $\mathbf{l}_1, \dots, \mathbf{l}_n$ и $\vec{\lambda}_1, \dots, \vec{\lambda}_n$ ($\vec{\lambda}_1 = \frac{\mathbf{e}_1}{F}$), инвариантно связанных с элементом рассматриваемой кривой. Если ввести обозначения:

$$k_p = \frac{1}{r_p} = \frac{\sqrt{N_{p+1} N_{p-1}}}{N_p \sqrt{N_1}}, \quad \chi_p = \frac{1}{\rho_p} = \frac{\sqrt{\mathfrak{N}_{p+1} \mathfrak{N}_{p-1}}}{\mathfrak{N}_p \sqrt{N_1}}$$

и положить, что $N_0 = 1$, $N_{n+1} = 0$, $\mathfrak{N}_0 = \mathfrak{N}_1 = 1$, $\mathfrak{N}_{n+1} = 0$, то деривационные формулы нецентроидальной кривой примут вид

$$\frac{d\mathbf{l}_p}{ds} = -k_{p-1} \mathbf{l}_{p-1} + k_p \mathbf{l}_{p+1}, \quad \frac{d\vec{\lambda}_p}{ds} = -\chi_{p-1} \vec{\lambda}_{p-1} + \chi_p \vec{\lambda}_{p+1}, \quad (18)$$

где ds — дифференциал дуги центроиды. Прямые локального касательного пространства, имеющие направление векторов \mathbf{l}_ν и $\vec{\lambda}_\nu$, назовем ν -й нормальной и ν -й относительной нормалью соответственно; p -векторы $\mathbf{R}_p = (\mathbf{l}_1 \dots \mathbf{l}_p)$ и $\mathfrak{R}_p = (\vec{\lambda}_1 \dots \vec{\lambda}_p)$ — соприкасающимся p -вектором и относительным соприкасающимся p -вектором соответственно.

Замечание 1. Если метрическое пространство является римановым пространством, то (15) будут формулами Френе кривой, которые впервые установил Бляшке тензорным методом ⁽⁶⁾.

Замечание 2. Если сделать развертку пространства вдоль нецентроидальной кривой, то сама кривая отобразится на линейчатую поверхность. Первые деривационные формулы (17) будут формулами Френе для направляющей кривой этой линейчатой поверхности (для развертки центроиды), а вторые формулы (18) — формулами Френе для сферического изображения линейчатой поверхности на индикатриссе ассоциированного финслерова пространства.

В заключение пользуюсь случаем выразить благодарность С. П. Финикову под непосредственным руководством которого была выполнена эта работа а также Г. Ф. Лаптеву за ценные критические указания.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
13 III 1959

Вильнюсский педагогический институт

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. Cartan, Ann. Éc. Norm. Sup., 21 (1904). ² С. П. Фиников, Метод внешних форм Картана в дифференциальной геометрии, М.—Л., 1948. ³ Г. Ф. Лаптев, Тр. Моск. матем. общ., 2 (1953). ⁴ А. М. Васильев, ДАН, 59, № 1 (1951). ⁵ A. Moór, Acta sci. math., 17, № 1—2, 85 (1956). ⁶ W. Blaschke, Math. Zs. 6, 94 (1919).

М. И. ГРАЕВ

НЕПРИВОДИМЫХ УНИТАРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ВЕЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТЫХ ГРУПП ЛИ

(Представлено академиком М. В. Келдышем 13 III 1959)

1⁰. В нашей статье ⁽³⁾ рассматривались неприводимые унитарные представления группы $G_{p,q}$ комплексных матриц порядка $n = p + q$ с определителем 1, сохраняющих эрмитову форму

$$x_1 \overline{x_1} + \dots + x_p \overline{x_p} - x_{p+1} \overline{x_{p+1}} - \dots - x_{p+q} \overline{x_{p+q}}. \quad (1,1)$$

В данной статье будут рассмотрены представления других классов простых групп Ли, являющихся, подобно группам $G_{p,q}$, транзитивными группами аналитических автоморфизмов некоторой ограниченной комплексной области. Помимо групп $G_{p,q}$ существует, как известно ^(5, 6), три основных класса таких групп*: 1) группа A_p комплексных матриц порядка $2p$ с определителем 1, сохраняющих эрмитову форму (1,1), где $p = r$, и квадратичную форму $x_1 x_{p+1} + \dots + x_p x_{2p}$; 2) группа B_p комплексных матриц порядка $2p$ с определителем 1, сохраняющих эрмитову форму (1,1), где $q = p$, и билинейную форму $(x_1 y_{p+1} - x_{p+1} y_1) + \dots + (x_p y_{2p} - x_{2p} y_p)$; 3) группа вещественных матриц порядка $p + 2$ с определителем 1, сохраняющих квадратичную форму $x_1^2 + \dots + x_p^2 - x_{p+1}^2 - x_{p+2}^2$. Ниже будут рассмотрены представления групп A_p и B_p .

2⁰. Дискретная (аналитическая) серия неприводимых унитарных представлений групп A_p и B_p . Будем записывать элементы групп A_p и B_p в клеточной форме $g = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}$, где $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ — p -матрицы.

Рассмотрим пространство \mathfrak{H} функций $f(z, w)$, где z и w — квадратные матрицы порядка p , причем матрица w кососимметрична (в случае группы A_p) или симметрична (в случае группы B_p).

На эти функции наложим условия:

1) При фиксированном w функция f является многочленом относительно элементов первой строки матрицы z ; миноров, составленных из первых двух строк матрицы z и т. д., вплоть до определителя самой матрицы z . По отношению к минорам каждого заданного порядка функция f является однородным многочленом заданной степени однородности.

2) При фиксированном z функция f является аналитической функцией w в области $ww^* < e_p$, где e_p — единичная матрица порядка p .

$$3) \|f\|^2 = \int |f[v(e_p - \bar{w}w')^{1/2}, w]|^2 \det^{-k}(e_p - ww^*) d\mu(v) d\mu(w) < \infty, \quad (2,1)$$

где v — унитарная матрица, $d\mu(v)$ — инвариантная мера; $d\mu(w)$ — произведение дифференциалов вещественных и мнимых частей независимых элементов матрицы w ; $k = p - 1$ для группы A_p и $k = p + 1$ для B_p ;

* А также две исключительные группы размерностей 78 и 133.

интегрирование ведется по всем унитарным матрицам u и по кососимметрическим (симметрическим) матрицам w , удовлетворяющим условию $ww^* < e_p$.

Скалярное произведение в \mathfrak{H} определим в соответствии с формулой (2,1).

Представление в пространстве \mathfrak{H} состоит в том, что каждой матрице $g = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}$ из группы сопоставляется оператор T_g вида

$$T_g f(z, w) = f[z(\beta'w' + \delta')^{-1}, (w\beta + \delta)^{-1}(w\alpha + \gamma)]. \quad (2,2)$$

Представление характеризуется, таким образом, p целыми числами — степенями однородности функции f относительно строк матрицы z . При этом $\mathfrak{H} \neq 0$, если $k_p \geq k-1$, где k_p — степень однородности функций f относительно $\det z^*$.

Все описанные представления являются неприводимыми унитарными представлениями соответствующих групп.

Методы, развитые в (3), § 5 на примере группы $G_{p,q}$, позволяют вычислить следы представлений аналитической серии групп A_p и B_p . Нетрудно видеть, что формула (2,2) определяет оператор T_g не только для элементов g вещественной группы, но и для элементов g комплексной формы \mathfrak{G} этой группы. При этом в \mathfrak{G} существует такая область \mathfrak{A} , что: а) вещественная группа лежит на границе области \mathfrak{A} ; б) операторы T_g при $g \in \mathfrak{A}$ вполне непрерывны и имеют след $S(T_g)$ в обычном смысле. След оператора T_g , где g — элемент вещественной группы, мы определим, тогда как предел $S(T_g)$ при $g \rightarrow g^{**}$.

Теорема 1. Пусть $[x, x] = x_1\bar{x}_1 + \dots + x_p\bar{x}_p - x_{p+1}\bar{x}_{p+1} - \dots - x_{2p}\bar{x}_{2p}$ и T_g — заданное представление аналитической серии группы A_p или B_p . Предположим, что g — регулярный элемент группы, т. е. все собственные значения матрицы g попарно различны. Рассмотрим те собственные значения матрицы g , которые по модулю больше единицы или, если они по модулю равны единице, отвечают собственному вектору x , для которого $[x, x] < 0$. Таких собственных значений имеется точно p . Обозначим их через $\delta_1, \dots, \delta_p$.

Тогда след $S(T_g)$ оператора T_g выражается следующей формулой: для случая группы A_p

$$S(T_g) = |\delta^{-n_1} \dots \delta^{-n_p}| \prod_{\alpha > \beta} (\delta_\alpha^{-1} - \delta_\beta^{-1})^{-1} (1 - \delta_\alpha^{-1} \delta_\beta^{-1})^{-1};$$

для случая группы B_p

$$S(T_g) = |\delta^{-n_1} \dots \delta^{-n_p}| \prod_{\alpha > \beta} (\delta_\alpha^{-1} - \delta_\beta^{-1})^{-1} (1 - \delta_\alpha^{-1} \delta_\beta^{-1})^{-1} \prod (1 - \delta_\alpha^{-2})^{-1}.$$

Здесь положено

$$|\delta^{-n_1} \dots \delta^{-n_p}| = \begin{vmatrix} \delta_1^{-n_1} & \dots & \delta_1^{-n_p} \\ \dots & \dots & \dots \\ \delta_p^{-n_1} & \dots & \delta_p^{-n_p} \end{vmatrix}, \quad n_j = l_j + \dots + l_p + (p-j),$$

где l_j — степень однородности функций $f(z, w)$ пространства представления относительно j -й строки матрицы z ($j = 1, \dots, p$).

Теорема 2. Пусть $f(g)$ — финитная бесконечно дифференцируемая функция на множестве G_0 регулярных элементов группы A_p или B_p . Тогда оператор $T_f = \int_{G_0} f(g) T_g d\mu(g)$ имеет след $S(T_f)$ в обычном смысле,

* Наряду с описанными представлениями можно также определить представления, им контрагredientные.

** Отметим, что след оператора T_g , определяемый здесь предельным переходом из комплексной области, не есть след в обычном смысле: будучи унитарным, оператор T_g не имеет следа в обычном смысле.

причем $S(T_f) = \int_{G_0} f(g) S(T_g) d\mu(g)$, где $S(T_g)$ определяется в соответствии с теоремой 1 (ср. ⁽³⁾, теорема 5,4).

30. Недискретные серии неприводимых унитарных представлений групп A_p и B_p .

Случай группы B_p . Для построения представлений недискретных серий воспользуемся новой матричной реализацией группы B_p , отличной от приведенной в п. 1.

Зафиксируем натуральное число $r \leq p$, и пусть

$$\hat{\sigma} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & e_r \\ 0 & \sigma & 0 \\ e_r & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{\tau} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & e_r \\ 0 & \tau & 0 \\ -e_r & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (3,1)$$

где

$$\sigma = \begin{pmatrix} e_{p'} & 0 \\ 0 & -e_{p'} \end{pmatrix}, \quad \tau = \begin{pmatrix} 0 & e_{p'} \\ -e_{p'} & 0 \end{pmatrix}, \quad p' = p - r, \quad (3,2)$$

а $e_r, e_{p'}$ — единичные матрицы соответствующих порядков. Тогда группу B_p можно реализовать как группу комплексных унимодулярных матриц, удовлетворяющих соотношениям $g\hat{\sigma}g^* = \hat{\sigma}$, $g\hat{\tau}g' = \hat{\tau}$.

В соответствии с (3,1) будем записывать матрицы g группы B_p в клеточной форме

$$g = \begin{pmatrix} g_{-1,-1} & g_{-1,0} & g_{-1,1} \\ g_{0,-1} & g_{0,0} & g_{1,0} \\ g_{1,-1} & g_{1,0} & g_{1,1} \end{pmatrix}. \quad (3,3)$$

Введем в рассмотрение следующие подгруппы группы B_p : 1) подгруппа K клеточных треугольных матриц с нулями под главной диагональю; 2) подгруппа Z клеточных треугольных матриц с нулями над главной диагональю и единичными матрицами на главной диагонали; 3) подгруппа Z , получающаяся из Z транспонированием; 4) подгруппа D клеточных диагональных матриц*.

Любую матрицу $g \in B_p$, за исключением многообразия матриц меньшего числа измерений, можно представить, и притом однозначно, в виде $g = kz$, где $k \in K$, $z \in Z$. В свою очередь, любую матрицу $k \in K$ можно представить, и притом однозначно, в виде $k = \zeta\delta$, где $\zeta \in Z$, $\delta \in D$.

Подгруппа D состоит из матриц вида

$$\delta = \begin{pmatrix} g_{-1} & 0 & 0 \\ 0 & g_0 & 0 \\ 0 & 0 & g_1 \end{pmatrix}, \quad (3,4)$$

где g_1 — произвольная невырожденная вещественная матрица, $g_{-1} = g_1^{-1}$ и g_0 является матрицей из группы $B_{p'}$ в ее старой реализации, описанной в п. 1.

Пусть теперь задано неприводимое унитарное представление T_g^{π} дискретной серии группы $B_{p'}$ и неприводимое унитарное представление \hat{T}_g полной группы вещественных матриц порядка r . Эти представления индуцируют неприводимое унитарное представление T_g группы B_p , определяемое следующим образом (ср. ⁽³⁾, стр. 382 — 383).

Пусть H — пространство функций $f(z)$ на Z , для которых $\int |f(z)|^2 d\mu(z) < \infty$. Пусть H_1 — пространство функций $\varphi(z_1)$, на котором действует представ-

* Аналогичные подгруппы играют существенную роль в теории автоморфных функций (см. ^(7, 8)), где дана их геометрическая интерпретация).

ление T_g^{π} группы B_p ; H_2 — пространство функций $\phi(z_2)$, на котором действует представление \hat{T}_g группы вещественных матриц порядка r . Представление T_g строится тогда в тензорном произведении пространств H , H_1 и H_2 . Оператор представления T_g задается формулой

$$T_g f(z, z_1, z_2) = \hat{T}_{g_1} T_{g_0}^{\pi} f(z\bar{g}, z_1, z_2) \left[\frac{d\mu(z\bar{g})}{d\mu(z)} \right]^{1/2}. \quad (3,5)$$

Здесь $z\bar{g} = \hat{z} \in Z$ определяется из соотношения

$$z\bar{g} = \zeta \delta \hat{z}, \quad (3,6)$$

где $\zeta \in Z$, $\delta \in D$, $\hat{z} \in Z$; g_1 и g_0 обозначают соответственно нижнюю и среднюю клетки матрицы δ из (3,6); операторы $T_{g_0}^{\pi}$ и \hat{T}_{g_1} действуют на f как на функцию соответственно от z_1 и от z_2 .

Случай группы A_p . Воспользуемся следующей матричной реализацией группы A_p . Зафиксируем четное натуральное число $2r \leq p$, и пусть

$$\tilde{\sigma} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{2r} \\ 0 & \sigma & 0 \\ -a_{2r} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \tilde{\tau} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & b_{2r} \\ 0 & \tau & 0 \\ b_{2r} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (3,7)$$

где

$$\sigma = \begin{pmatrix} e_{p'} & 0 \\ 0 & -e_{p'} \end{pmatrix}, \quad \tau = \begin{pmatrix} 0 & e_{p'} \\ e_{p'} & 0 \end{pmatrix}, \quad p' = p - 2r; \quad (3,8)$$

$$a_{2r} = \begin{pmatrix} & & \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} \\ & \ddots & \\ \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix} & & \end{pmatrix}, \quad b_{2r} = \begin{pmatrix} & & \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \\ & \ddots & \\ \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} & & \end{pmatrix} \quad (3,9)$$

матрицы порядка $2r$.

Нетрудно проверить, что группу A_p можно реализовать как группу комплексных унитарных матриц g , удовлетворяющих соотношениям $g\bar{\sigma}g^* = \tilde{\sigma}$, $g\bar{\tau}g^* = \tilde{\tau}$.

Будем записывать, в соответствии с (3,7), матрицы из A_p в клеточной форме (3,3). Введем, как и раньше, треугольные подгруппы K, Z, \bar{Z} группы A_p и подгруппу D клеточно диагональных матриц из A_p . Подгруппа D состоит из матриц вида (3,4), где матрицы g_1 пробегает группу, изоморфную полной группе кватернионных матриц порядка r , а матрицы g_0 пробегает группу матриц $A_{p'}$ в ее старой реализации, описанной в п. 1. Наконец, матрица g_{-1} однозначно определяется матрицей g_1 .

Данную выше конструкцию неприводимых унитарных представлений группы B_p можно теперь целиком перенести на группу A_p , при этом лишь полную группу вещественных матриц порядка r следует заменить полной группой кватернионных матриц того же порядка *.

Поступило
10 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. М. Гельфанд, М. А. Наймарк, Тр. Матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР, **36** (1950). ² И. М. Гельфанд, М. И. Граев, Изв. АН СССР, сер. матем., **17**, 189 (1953). ³ М. И. Граев, Тр. Моск. матем. общ., **7**, 335 (1958). ⁴ Hua Loo Keng, Harmonic Analysis of the Classical Domain in the Study of Analytic Functions of Several Complex Variables (на англ. яз.) Китай, стеклографировано (переводится в издательстве ИЛ). ⁵ A. Borel, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **40**, № 12, 1147 (1954). ⁶ E. Cartan, Abh. Math. Seminar, Hamburg, **11**, 116 (1935). ⁷ И. И. Пятацкий - Шапиро, ДАН, **113**, № 5, 980 (1957). ⁸ И. И. Пятацкий - Шапиро, ДАН, **124**, № 4 (1959).

* Отметим, что неприводимые унитарные представления группы кватернионных матриц, как и представления группы вещественных матриц, имеют сравнительно простую структуру.

Е. Б. ДЫНКИН

ЕСТЕСТВЕННАЯ ТОПОЛОГИЯ И ЭКСЦЕССИВНЫЕ ФУНКЦИИ,
СВЯЗАННЫЕ С МАРКОВСКИМ ПРОЦЕССОМ

(Представлено академиком П. С. Александровым 21 II 1959)

Понятие эксцессивной функции, связанной с марковским процессом, было впервые введено Хантом ⁽¹⁾. Для винеровского процесса оно совпадает с обычным понятием неотрицательной супергармонической функции. Этому важнейшему специальному случаю посвящена более ранняя работа Дуба ^{(2)*}. Естественная топология, связанная с субгармоническими функциями, рассматривалась А. Картаном в ⁽⁴⁾ и Дубом ^(2, 3). В настоящей заметке эти понятия вводятся в новой форме.

Формулируется ряд общих теорем о топологии и эксцессивных функциях, связанных с произвольными обрывающимися марковскими процессами. Некоторые из этих теорем (например теореме 3) нетрудно доказать при помощи методов, развитых в работе Ханта ⁽¹⁾. Другие (в частности теорема 4) требуют более сложных рассуждений.

Мы будем пользоваться терминологией и обозначениями работ ^(5, 6).

§ 1. Естественная топология в фазовом пространстве**.

1. Пусть $X = (x_t, \zeta, \mathcal{M}_t, P_x, \theta_x)$ — марковский процесс в измеримом пространстве (E, \mathcal{B}) , подчиненный условию $P_x \{\zeta > 0\} = 1$ для всех $x \in E$. Положим $\Gamma \in \mathcal{B}_0$, если $\Gamma \in \mathcal{B}$ и $P_x \{\text{существует } \delta > 0 \text{ такое, что } x_t \in \Gamma \text{ для всех } 0 \leq t < \delta\} = 1$.

Систему всех множеств, представимых в виде суммы множеств из \mathcal{B}_0 , обозначим через \mathcal{E}_0 . Система \mathcal{E}_0 содержит пустое множество и все пространство и замкнута относительно операций сложения произвольного числа и пересечения конечного числа множеств. Следовательно, пара (E, \mathcal{E}_0) является топологическим пространством. Топологию \mathcal{E}_0 мы будем называть естественной топологией, связанной с марковским процессом X . Система \mathcal{B}_0 является базой для топологии \mathcal{E}_0 ***.

2. Условимся говорить, что марковский процесс $X = (x_t, \zeta, \mathcal{M}_t, P_x, \theta_t)$ является стандартным процессом, если:

2А. X задан в пространстве (E, \mathcal{B}) , где \mathcal{B} — система всех борелевских множеств топологического пространства (E, \mathcal{E}) , являющегося локально компактным хаусдорфовым пространством со счетной базой.

2Б. X непрерывен справа.

2В. X строго марковский.

* Некоторые другие специальные процессы изучены с этой же точки зрения Дубом ⁽³⁾.

** Вопросы, составляющие содержание этого параграфа, неоднократно обсуждались на семинаре под руководством автора в Московском университете. Доказательства некоторых из приводимых ниже результатов основаны на соображениях, высказывавшихся во время этого обсуждения А. Д. Вентцелем и И. В. Гирсановым.

*** Мы говорим, что подсистема \mathcal{E}' системы \mathcal{E} является базой для \mathcal{E} , если каждый элемент из \mathcal{E} может быть представлен в виде суммы элементов из \mathcal{E}' .

2Г. Если $\tau_n(\omega) \uparrow \tau(\omega) < \zeta(\omega)$ для всех $\omega \in \tilde{\Omega}$, причем τ_n суть случайные величины, не зависящие от будущего, то при любом x $x_{\tau_n} \rightarrow x_\tau$ (почти наверное $\tilde{\Omega}, P_x$)*.

2Д. $\mathcal{H}_{t+0} \subseteq \mathcal{M}_t^{**}$.

Для того чтобы однородная переходная функция $P(t, x, \Gamma)$ в пространстве (E, \mathcal{B}) , описанном в пункте 2А, соответствовала некоторому стандартному процессу, достаточно, чтобы для всякой окрестности U точки x $\lim_{t \rightarrow 0} P(t, x, U) = 1$ и чтобы операторы

$$T_t f(x) = \int_E P(t, x, dy) f(y)$$

преобразовывали в себя пространство всех непрерывных функций, стремящихся к нулю «на бесконечности» (ср. (7)).

В дальнейшем до конца § 1 мы будем рассматривать только стандартные марковские процессы.

3. Положим $\tau(\Gamma) = \inf \{t : t > 0, x_t \in \Gamma\}$ (если $x_t \in \Gamma$ для всех $0 \leq t \leq \zeta$, то полагаем $\tau = \zeta$). Пусть $\Gamma \in \mathcal{B}$. Функция $P_x \{\tau(\Gamma) > 0\}$ может принимать только значения 0 и 1. Точки, где она равна нулю, называются регулярными для Γ . Совокупность всех таких точек мы будем обозначать через Γ_r . Положим $\hat{\Gamma} = \Gamma \cup \Gamma_r$.

Лемма 1. Для любых $x \in E, \Gamma \in \mathcal{B}$

$$P_x \{\tau(\Gamma_r) \geq \tau(\Gamma)\} = 1, \quad P_x \{\tau(\hat{\Gamma}) = \tau(\Gamma)\} = 1.$$

Теорема 1. Множество Γ_r замкнуто в топологии \mathcal{C}_0 . Множество $\hat{\Gamma}$ является замыканием Γ в топологии \mathcal{C}_0 .

Теорема 2. Множества вида $E \setminus G_r$, где $G \in \mathcal{C}$, образуют базу топологии \mathcal{C}_0 .

§ 2. Эксцессивные функции.

4. Пусть X — марковский процесс в измеримом пространстве (E, \mathcal{B}) . \mathcal{B} -измеримая функция $f(x)$ ($x \in E$) *** называется эксцессивной для X , если:

4 А. Для любой не зависящей от будущего случайной величины τ и для всех $x \in E$ $M_x f(x_\tau) \leq f(x)$.

4 Б. Для любого $x \in E$ и любой последовательности не зависящих от будущего случайных величин τ_n такой, что $P_x \{\tau_n \downarrow 0\} = 1$, имеет место равенство $\lim_{n \rightarrow \infty} M_x f(x_{\tau_n}) = f(x)$.

Доказывается, что:

а) эксцессивные функции неотрицательны;

б) предел неубывающей последовательности эксцессивных функций эксцессивен;

в) если $g \geq 0$ и если интеграл

$$M_x \int_0^\zeta g(x_t) dt$$

сходится, то он представляет собой эксцессивную функцию.

* Т. е. почти наверное на $\tilde{\Omega}$ относительно меры P_x .

** Через \mathcal{N}_t обозначена σ -алгебра в пространстве $\Omega_t = \{\xi > t\}$, порожденная множествами $\{x \in \Gamma, \xi > t\}$ ($0 \leq u \leq t, \Gamma \in \mathcal{B}$). Мы полагаем $A \in \mathcal{N}_{t+0}$, если для каждого $u > t$ $\{A, \xi > u\} \in \mathcal{N}_u$, и $A \in \overline{\mathcal{N}}_{t+0}$, если для каждой меры μ на σ -алгебре \mathcal{B} найдутся множества $A_1, A_2 \in \mathcal{N}_{t+0}$ такие, что $A_1 \subseteq A \subseteq A_2$ и $P_\mu(A_1) = P_\mu(A_2)$.

*** Для функции $f(x)$ допускается значение $+\infty$.

5. Пусть $P(t, x, \Gamma)$ — переходная функция в измеримом пространстве $E(\mathcal{B})$. Неотрицательная \mathcal{B} -измеримая функция f называется эксцессивной для $P(t, x, \Gamma)$, если при всех $t \geq 0$ $T_t f(x) \leq f(x)$ и $\lim_{t \downarrow 0} T_t f(x) = f(x)$.

Доказывается, что:

а) если $\lim_{t \rightarrow \infty} P(t, x, E) = 0$, то функция f является эксцессивной для $P(t, x, \Gamma)$ тогда и только тогда, когда она является пределом неубывающей последовательности функций вида

$$f_n(x) = \int_0^\infty T_t g_n(x) dt \quad (g_n \geq 0)$$

(см. (1), стр. 66);

б) пусть \tilde{A} — слабый инфинитезимальный оператор функции $P(t, x, \Gamma)$ и $f \in D_{\tilde{A}}$, $f \geq 0$; чтобы f была эксцессивна для $P(t, x, \Gamma)$, необходимо и достаточно, чтобы $\tilde{A}f(x) \leq 0$ для всех $x \in E$.

Теорема 3. Пусть X — строго марковский процесс с переходной функцией $P(j, x, \Gamma)$. Функция $f(x)$ ($x \in E$) является эксцессивной для X тогда и только тогда, когда она эксцессивна для $P(t, x, \Gamma)$.

Следствие. Если функция $f(x)$ эксцессивна для процесса X , то она эксцессивна для всякого строго марковского подпроцесса \tilde{X} процесса X (при условии, что $\tilde{P}_x\{\xi > 0\} = 1$ для всех $x \in E$).

6. Исследуем подробнее случай, когда процесс X непрерывен справа.

Лемма 2. Пусть X — стандартный сильно феллеровский* процесс. Тогда всякая эксцессивная для X функция полунепрерывна снизу. Всякая полунепрерывная снизу функция, удовлетворяющая условию 4 А, эксцессивна для X .

Теорема 4. Пусть X — стандартный марковский процесс. Если неотрицательная \mathcal{B} -измеримая функция f удовлетворяет условиям 4 А, 4 Б для моментов первого выхода на компактные множества, то она является эксцессивной для процесса X .

7. Связь между естественной топологией, введенной в § 1, и эксцессивными функциями устанавливается следующей теоремой.

Теорема 5. Пусть X — стандартный марковский процесс. Все функции, эксцессивные для X , непрерывны в естественной топологии \mathcal{C}_0 . Топологию \mathcal{C}_0 можно охарактеризовать как наиболее слабую топологию, в которой непрерывны все эксцессивные функции для процесса X и для любого его стандартного подпроцесса \tilde{X} .

Доказательство теоремы 5 легко выводится из теоремы 2 и теоремы 6 работы (1).

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
19 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ G. H. Hunt, J. of Math., 1, 1, 44 (1957). ² G. L. Doob, Trans. Am. Math. Soc., 77, 86 (1954). ³ G. L. Doob, Trans. Am. Math. Soc., 80, 216 (1955). ⁴ Н. Сагун, Ann. Univ. Grenoble (N. S.), Sect. Sci. Math. Phys., 22, 221 (1946). ⁵ Е. Б. Дынкин, Теория вероятн. и ее применения, 1, 1, 38 (1956). ⁶ Е. Б. Дынкин, Основания теории марковских процессов, М., 1959. ⁷ И. В. Гирсанов, Теория вероятн. и ее применения

* Т. е. $T_t f(x)$ непрерывна для всякой ограниченной \mathcal{B} -измеримой функции f (7)).

В. М. ИВАНОВА и А. А. ИВАНОВ

ПРОСТРАНСТВА СМЕЖНОСТИ И БИКОМПАКТНЫЕ РАСШИРЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ

(Представлено академиком П. С. Александровым 2 III 1959)

Будем говорить, что на топологическом пространстве E класса T_1 задано отношение смежности σ для конечных систем замкнутых множеств E , если относительно каждой такой системы $\alpha = (F_1, F_2, \dots, F_n)$ можно сказать, находится ли она в этом отношении (имеет место $\sigma(\alpha)$) или нет (не имеет места $\sigma(\alpha)$), и это отношение удовлетворяет аксиомам:

С 1. Если каждый элемент системы β содержит некоторый элемент системы α и $\sigma(\alpha)$ имеет место, то имеет место $\sigma(\beta)$.

С 2. Если имеет место $\sigma(\alpha \cup \beta)$, то имеет место либо $\sigma(\alpha)$, либо $\sigma(\beta)$ ($\alpha \cup \beta$ — система, состоящая из всех сумм $A_i \cup B_j$, $A_i \in \alpha$, $B_j \in \beta$).

С 3. $\sigma(x, F)$, где x — одноточечное замкнутое множество, имеет место тогда и только тогда, когда $x \in F$.

Конечную систему α , для которой имеет место $\sigma(\alpha)$, будем называть системой σ -смежности или просто системой смежности.

Примерами отношений смежности могут служить:

1. σ_π , определяемое условием: $\sigma_\pi(\alpha)$ имеет место тогда и только тогда, когда $\bigcap_{A \in \alpha} A \neq \Lambda$. Отношение смежности σ_π будем называть смежностью по пересечениям.

2. $\sigma_{\mathfrak{B}}$, где \mathfrak{B} — замкнутый базис E , определяемое условием: $\sigma_{\mathfrak{B}}(F_1, F_2, \dots, F_n)$ имеет место тогда и только тогда, когда для любых базисных замкнутых множеств B_1, B_2, \dots, B_n ; $F_i \subset B_i$, $\bigcap_{i=1}^n B_i \neq \Lambda$. Отношение смежности $\sigma_{\mathfrak{B}}$ будем называть смежностью по базису \mathfrak{B} .

Множества отношений смежности на топологическом пространстве можно частично упорядочить, положив $\sigma_1 \geq \sigma_2$, если каждая система σ_1 -смежности является системой σ_2 -смежности.

Ограничение заданного на E отношения смежности σ до отношения δ для пар замкнутых множеств E будем называть отношением близости на E и говорить, что σ и δ согласованы.

Теорема 1. Среди отношений смежности, согласованных с данным отношением близости δ , есть наименьший и наибольший элементы.

Наименьшим отношением смежности, согласованным с δ , является отношение σ_0 , определяемое условием: $\sigma_0(F_1, F_2, \dots, F_n)$ имеет место тогда и только тогда, когда для любой системы $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n$ конечных замкнутых покрытий множеств F_1, F_2, \dots, F_n можно выбрать по одному элементу из каждого покрытия так, что выбранные множества попарно δ -близки. Наибольшим отношением смежности, согласованным с δ , является отношение смежности σ_1 , определяемое условием: $\sigma_1(F_1, F_2, \dots, F_n)$ имеет место тогда и только тогда, когда существуют такие δ -близкие множества Φ_1 и Φ_2 (возможно, совпадающие), что каждое F_i ($i = 1, 2, \dots, n$) содержит либо Φ_1 , либо Φ_2 .

Отношение смежности σ_0 , являющееся наименьшим среди всех отношений смежности, согласованных с отношением близости δ , будем называть также главным отношением смежности.

Топологическое пространство $E \in T_1$ будем называть пространством близости, если на нем задано определенное отношение близости δ для пар замкнутых множеств, и обозначать его через (E, δ) .

Топологическое пространство $E \in T_1$ будем называть пространством смежности, если на нем задано определенное отношение смежности σ для конечных систем замкнутых множеств, и обозначать его через (E, σ) .

Пусть (E, σ) — пространство смежности. Систему замкнутых подмножеств E будем называть системой σ -смежности или просто системой смежности, если любая ее конечная подсистема является системой σ -смежности. Топологическое пространство $E \in T_1$ можно определенным образом расширить до бикompактного, присоединяя к E все максимальные системы σ -смежности с пустым пересечением. Соответствующая конструкция этого расширения, обозначаемого через σE , в общем аналогична обычной конструкции расширения, использующей максимальные центрированные системы. С другой стороны, имеет место:

Теорема 2. Любое правильное бикompактное расширение в классе T_1 пространства E эквивалентно некоторому его σ -расширению σE (правильным называют расширение, в котором совокупность замыканий множеств E образует замкнутый базис расширения).

Таким образом, теория пространства смежности позволяет описать все правильные бикompактные расширения топологических пространств в классе T_1 .

Теорема 3. Существует взаимно-однозначное соответствие между множеством всех правильных бикompактных расширений пространства E в классе T_1 , определенных с точностью до эквивалентности, и множеством всех отношений смежности на E . Каждому отношению смежности σ сопоставляется при этом расширение σE , каждому правильному бикompактному расширению E' (класса T_1) сопоставляется такое отношение смежности σ на E , что $\sigma(F_1, F_2, \dots, F_n)$ имеет место тогда и только тогда, когда $\bigcap_{i=1}^n \bar{F}_i^{E'} \neq \Lambda$.

Среди всех отношений смежности мы выделили особый класс главных отношений смежности. Будем называть соответствующие пространства смежности главными пространствами смежности, их бикompактные σ -расширения — главными расширениями. Главные расширения обладают специальными свойствами, некоторые из которых мы здесь приведем.

Будем говорить, что система (F_1, F_2, \dots, F_n) замкнутых множеств E обладает свойством Σ , если для любой системы конечных замкнутых покрытий $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n$ множеств F_1, F_2, \dots, F_n можно выбрать по одному элементу из каждого Σ_i так, что выбранные элементы имеют попарно непустое пересечение.

Теорема 4. Правильное бикompактное σ -расширение E (класса T_1) является главным тогда и только тогда, когда любая конечная система замкнутых в σE множеств, обладающая свойством Σ , имеет непустое пересечение.

Теорема 5. Если σE — главное расширение E ; x_1, x_2 — произвольные точки σE ($x_1 \neq x_2$), то существуют такие замкнутые в E множества F_1, F_2 , что $x_1 \in \bar{F}_1^{\sigma E}$, $x_2 \in \bar{F}_2^{\sigma E}$ и $\bar{F}_1^{\sigma E} \cap \bar{F}_2^{\sigma E} = \Lambda$.

Теорема 6. Существует взаимно-однозначное соответствие между множеством всех главных бикompактных расширений E (в классе T_1) и множеством всех отношений близости на E . Каждому отношению близости δ сопоставляется при этом расширение $\sigma_\delta E$ (σ_δ — главное отношение смежности, согласованное с δ), каждому главному бикompактному

расширению E' сопоставляется такое отношение близости δ на E , что $\delta(F_1, F_2)$ имеет место тогда и только тогда, когда $\bar{F}_1^{E'} \cap \bar{F}_2^{E'} \neq \Lambda$.

Эта теорема является по существу обобщением результата Ю. М. Смирнова ⁽¹⁾, так как можно доказать, что устанавливаемое теоремой 6 соответствие между пространствами близости и главными бикompактными расширениями совпадает с соответствием, установленным Ю. М. Смирновым везде, где последнее имеет смысл.

Заметим в заключение, что можно развивать аналогичную теорию, не ограничиваясь классом T_1 , однако при этом возникнут некоторые дополнительные трудности, которые, впрочем, можно преодолеть.

Поступило
27.11.1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹⁾Ю. М. Смирнов, Матем. сборн., 31, № 3, 543 (1952).

В. А. ИЛЬИН

РАЗРЕШИМОСТЬ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО И ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЙ В ПРОИЗВОЛЬНОМ НОРМАЛЬНОМ ЦИЛИНДРЕ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 17 III 1959)

В настоящей работе изучается вопрос о разрешимости смешанной задачи для гиперболического уравнения

$$\begin{aligned} Lu - u_{tt} &= -f(x, t) \quad \text{в цилиндре } \Omega_t = g \times [0 \leq t \leq l], \\ u(x, 0) &= \varphi(x), \quad u_t(x, 0) = \psi(x), \quad u|_{\Gamma} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

смешанной задачи для параболического уравнения

$$\begin{aligned} Lu - u_t &= -f(x, t) \quad \text{в цилиндре } \Omega_t, \\ u(x, 0) &= \varphi(x), \quad u|_{\Gamma} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь g — произвольная N -мерная область, ограниченная поверхностью Γ ; $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ — точка области g ; Ω_t — $(N+1)$ -мерный цилиндр, равный произведению $g \times [0 \leq t \leq l]$; $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ — заданные функции, определенные в области g ; $f(x, t)$ — заданная функция, определенная в цилиндре Ω_t ; L — самосопряженный дифференциальный оператор

$$Lu = \sum_{i,j=1}^N \frac{\partial}{\partial x_i} \left[a_{ij}(x) \frac{\partial u}{\partial x_j} \right] - c(x)u \quad (3)$$

эллиптического типа, определенный в некоторой открытой области S , содержащей область g с границей. В этой области коэффициенты оператора L удовлетворяют условию $a_{ij} = a_{ji}$ и условию эллиптичности

$$\sum_{i,j=1}^N a_{ij} \xi_i \xi_j \geq \alpha \sum_{i=1}^N \xi_i^2, \quad (4)$$

где $\alpha = \text{const} > 0$, при любых вещественных ξ_i . Кроме того предполагается, что $c(x) \geq 0$ всюду в области S .

Главная цель настоящей работы — установление таких минимальных требований на границу области g , при которых существуют классические решения смешанных задач (1) и (2).

Мы сосредоточим наше внимание в основном на смешанной задаче (1), так как смешанная задача (2) является во всех отношениях более простой. Задаче (1) для общего случая и для частных видов области g и оператора L посвящены многочисленные работы (1-8). Наиболее общие условия разрешимости смешанной задачи (1) установлены О. А. Ладыженской (7, 8). В отношении начальных функций φ и ψ установленные О. А. Ладыженской условия разрешимости очевидно не являются существенно преувеличенными*. Но на границу Γ области g О. А. Ладыженская накладывает

* Это показывает построенный нами пример (см. ниже).

чрезвычайно жесткие требования гладкости, исключаящие из рассмотрения даже самые элементарные области и неограниченно растущие с увеличением числа N измерений (Γ предполагается $[N/2] + 4$ раза непрерывно дифференцируемой в «местных» координатах).

В настоящей работе мы рассматриваем произвольную нормальную * область g . Цилиндр $\Omega_l = g \times [0 \leq t \leq l]$ мы называем нормальным, если область g нормальна.

Нам удалось доказать, что смешанная задача (1) для гиперболического уравнения и смешанная задача (2) для параболического уравнения разрешимы (в классическом смысле) в любом нормальном цилиндре Ω_l .

Напомним, что О. А. Олейник ⁽⁹⁾ и Г. Таутц ⁽¹⁰⁾ доказали, что задача Дирихле для общего линейного эллиптического уравнения разрешима в любой нормальной области g , а еще ранее А. Н. Тихонов ⁽¹¹⁾ доказал, что смешанная задача для однородного уравнения теплопроводности $\Delta u - u_t = 0$ разрешима в любом нормальном цилиндре Ω_l . Таким образом, теперь установлено единообразное условие разрешимости краевых и смешанных задач для уравнений всех трех типов, сводящее вопрос о разрешимости этих задач к хорошо изученному (см., например, ⁽¹²⁾) вопросу о разрешимости задачи Дирихле для уравнения Лапласа.

Переходим к развернутой формулировке результатов.

1°. Все упомянутые выше авторы ⁽¹⁻⁸⁾ исходят из довольно грубого определения классического решения смешанной задачи (1). Они называют классическим решением задачи (1) функцию $u(x, t)$, дважды непрерывно дифференцируемую в замкнутом цилиндре Ω_l и удовлетворяющую всем условиям задачи (1) в обычном классическом смысле. Естественно прежде всего для случая произвольной нормальной области g дать такое предельно слабое определение классического ** решения, для которого была бы справедлива теорема единственности ***.

Определение 1. Назовем функцию $u(x, t)$ слабо классическим решением смешанной задачи (1), если эта функция удовлетворяет следующим требованиям: 1) $u(x, t)$ определена и непрерывна в замкнутом цилиндре Ω_l ; 2) те производные $u(x, t)$, которые входят в уравнение $Lu - u_{tt} = -f$, существуют и непрерывны всюду внутри Ω_l ; 3) производная $\frac{\partial u}{\partial t}(x, t)$ кроме того непрерывна при $t = 0, x \in g$; 4) $u(x, t)$ удовлетворяет всем условиям задачи (1) в обычном классическом смысле.

В дальнейшем мы будем считать, что область g и коэффициенты оператора L удовлетворяют следующим двум условиям: 1) область g нормальна; 2) коэффициенты оператора L принадлежат в некоторой открытой области S , содержащей g с границей, классам ****

$$a_{ij}(x) \in C^{(1, \mu)}, \quad c(x) \in C^{(0, \mu)} \quad (\mu > 0) \quad (5)$$

* Область g называется нормальной, если для этой области разрешима задача Дирихле для уравнения Лапласа при любой непрерывной граничной функции.

** Т. е. решения, удовлетворяющего всем условиям задачи (1) в обычном классическом смысле.

*** Тот факт, что область g только нормальна и ее граница не удовлетворяет никаким условиям гладкости, существенно усложняет дело. Это лишает нас возможности сослаться на теорему О. А. Ладыженской о единственности обобщенного в $\mathcal{S}_2(\Omega_l)$ решения ^(13, 14), ибо эта теорема доказана лишь для области с дважды дифференцируемой границей.

**** Говорят, что функция $f(x)$, определенная в некоторой замкнутой N -мерной области T , принадлежит в этой области классу $C^{(k, \mu)}$, если ее производные k -го порядка удовлетворяют в области T условию Гельдера с показателем μ . Говорят, что функция $f(x)$, определенная в открытой области S , принадлежит в этой области классу $C^{(k, \mu)}$, если эта функция принадлежит классу $C^{(k, \mu)}$ в любой замкнутой области T , содержащейся в S .

и кроме того удовлетворяют в области S требованиям $a_{ij}(x) = a_{ji}(x)$, (4) и $c(x) \geq 0$. Эти два условия мы будем называть условиями А.

В работе (15) автора настоящей статьи и И. А. Шишмарева доказано, что при выполнении условий А существует полная ортонормированная система классических собственных функций $v_n(x)$ оператора L и что эта система является одновременно системой обобщенных собственных функций оператора L . Этот факт существенно используется в настоящей работе.

Теорема 1. Если выполнены условия А, то может существовать только одно слабо классическое решение смешанной задачи (1).

Определение 2. Слабо классическое решение задачи (1) назовем сильно классическим, если это решение имеет интегрируемые с квадратом по цилиндру Ω_l первые производные, т. е. если существует конечная энергия.

Теорема 2. Пусть выполнены условия А и кроме того $\varphi \in C^{(1, \infty)}(g + \Gamma)$ и $\psi > 0$; ϕ непрерывна в $(g + \Gamma)$; $f(x, t)$ непрерывна в замкнутом цилиндре Ω_l . Тогда, если существует слабо классическое решение задачи (1), то это решение является одновременно сильно классическим и обобщенным в смысле Ладыженской ((8), стр. 72—73) решением этой задачи.

В дальнейшем мы будем называть сильно классическое решение задачи (1) просто классическим.

2°. Вопрос о существовании классического решения смешанной задачи 1) мы решим при помощи классического метода Фурье.

Формальное применение метода Фурье для решения смешанной задачи 1) приводит к ряду

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(x) \left\{ \varphi_n \cos \sqrt{\lambda_n} t + \frac{\psi_n}{\sqrt{\lambda_n}} \sin \sqrt{\lambda_n} t + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{\lambda_n}} \int_0^t f_n(\tau) \sin \sqrt{\lambda_n} (t - \tau) d\tau. \right. \quad (6)$$

Теорема 3. Пусть g — произвольная N -мерная нормальная область, содержащаяся вместе с границей Γ в некоторой открытой области S . Пусть коэффициенты оператора L , начальные функции φ , ψ и правая часть уравнения f удовлетворяют следующим требованиям:

1) Коэффициенты $a_{ij}(x)$, $c(x)$ принадлежат классам (5) в области S , удовлетворяют в S условию эллиптичности (4) и условиям $a_{ij} = a_{ji}$, $c(x) \geq 0$ и кроме того в самой области g коэффициенты $a_{ij}(x)$ имеют непрерывные* производные до порядка $[N/2] + 2$, а коэффициент $c(x)$ — до порядка $[N/2] + 1$.

2) $\varphi \in W_2^{([N/2]+3)}(g)$, $\psi \in W_2^{([N/2]+2)}(g)$ и кроме того функции φ , $L\varphi, \dots, L^{[(N+4)/4]}\varphi$ и функции ψ , $L\psi, \dots, L^{[(N+2)/4]}\psi$ принадлежат классу $\dot{D}^0(g)$.

3) $f \in W_2^{([N/2]+2)}(\Omega_l)$ и кроме того функции f , $Lf, \dots, L^{[(N+2)/4]}f$ принадлежат классу $\dot{D}_1^0(\Omega_l)$.

Тогда ряд (6) и ряды, полученные однократным и двукратным почленным дифференцированием (6) по t , сходятся равномерно во всем замкнутом цилиндре $\Omega_l = g \times [0 \leq t \leq l]$, а ряды, полученные однократным и двукратным почленным дифференцированием (6) по всем переменным, сходятся равномерно в любой строго внутренней подобласти цилиндра Ω_l .

* Для области g звездного типа требование непрерывности производных коэффициентов $a_{ij}(x)$ и $c(x)$ можно заменить требованиями $a_{ij} \in W_2^{([N/2]+2)}(g)$, $c(x) \in W_2^{([N/2]+1)}(g)$. Последние требования менее жестки, чем те, которые С. Л. Соболев нашел для задачи Коши ((17), стр. 222).

При этом сумма ряда (6) определяет классическое решение смешанной задачи (1).

3°. Исходя из обычного определения классического решения смешанной задачи (2), мы доказываем следующее утверждение.

Теорема 4. Пусть g — произвольная N -мерная нормальная область, содержащаяся вместе с границей Γ в некоторой открытой области S . Пусть коэффициенты оператора L и начальная функция φ удовлетворяют следующим требованиям:

1) Коэффициенты $a_{ij}(x)$, $c(x)$ принадлежат классам (5) в области S , удовлетворяют в S условию эллиптичности (4) и условиям $a_{ij} = a_{ji}$, $c(x) \geq 0$ и кроме того в самой области g коэффициенты $a_{ij}(x)$ имеют непрерывные* производные до порядка $[N/2]$, а коэффициент $c(x)$ — до порядка $[N/2] - 1$.

2) φ непрерывна в замкнутой области $(g + \Gamma)$ и обращается в нуль на границе Γ .

Тогда существует классическое решение смешанной задачи (2) для случая $f(x, t) \equiv 0$. Если же дополнительно требовать, чтобы в самой области g коэффициенты $a_{ij}(x)$ имели непрерывные производные до порядка $[N/2] + 1$, а коэффициент $c(x)$ — до порядка $[N/2]$ и чтобы правая часть уравнения f удовлетворяла тем же условиям, что в теореме 3, то можно утверждать существование классического решения смешанной задачи (2) общего вида.

Замечание 1. Если область не только нормальна, но и имеет границу Γ типа Ляпунова, то коэффициенты оператора L можно определять и подчинять указанным в теоремах 1—4 условиям гладкости только в самой области g (см. (16), стр. 77—78).

Замечание 2. Подчеркнем, что сформулированные нами условия разрешимости смешанных задач (1) и (2) имеют в определенном смысле завершающий характер в двух отношениях: 1) в отношении требований на граничную поверхность Γ ; 2) в отношении требований на начальные функции φ и ψ . В отношении смешанной задачи (2) очевидно, что требование на φ является предельно точным. Требования на φ и ψ в теореме 3 совпадают с теми требованиями, которые С. Л. Соболев (17) получил для разрешимости задачи Коши. Но С. Л. Соболев показал ((17), стр. 161—162), что для задачи Коши эти требования не могут быть понижены на одну производную. Мы располагаем довольно простой модификацией примера Соболева на случай смешанной задачи в N -мерном кубе.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
24 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Смирнов, ДАН, 14, № 1 (1937). ² Н. М. Гюнтер, Теория потенциала и ее применение к основным задачам математической физики, 1953. ³ Х. Л. Смолицкий, ДАН, 73, № 2 (1950). ⁴ Х. Л. Смолицкий, ДАН, 73, № 3 (1950). ⁵ Х. Л. Смолицкий, ДАН, 74, № 2 (1950). ⁶ О. А. Ладыженская, ДАН, 75, № 6 (1950). ⁷ О. А. Ладыженская, ДАН, 85, № 3 (1952). ⁸ О. А. Ладыженская, Смешанная задача для гиперболического уравнения, 1953. ⁹ О. А. Олейник, Матем. сборн., 24, № 1 (1949). ¹⁰ G. Tautz, Math. Nachr., № 2, 279 (1949). ¹¹ А. Н. Тихонов, Бюлл. МГУ, секция А, 1, в. 9 (1938). ¹² М. В. Келдыш, Усп. матем. наук, 8, 171 (1941). ¹³ О. А. Ладыженская, ДАН, 97, № 3 (1954). ¹⁴ О. А. Ладыженская, Матем. сборн., 45 (87), № 2 (1958). ¹⁵ В. А. Ильин, И. А. Шихмарев, ДАН, 126, № 6 (1959). ¹⁶ К. Миранда, Уравнения с частными производными эллиптического типа, ИЛ, 1957. ¹⁷ С. Л. Соболев, Некоторые применения функционального анализа в математической физике, Л., 1950.

* См. предыдущую сноску.

А. С. КАЛАШНИКОВ

ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ РЕШЕНИЙ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ
УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА БЕЗ УСЛОВИЯ
ВЫПУКЛОСТИ КАК ПРЕДЕЛОВ РЕШЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ
УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ

(Представлено академиком И. Г. Петровским 30 III 1959)

Рассмотрим в полосе $S \{0 \leq t \leq T, -\infty < x < \infty\}$ уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \varphi(u)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

начальным условием

$$u(0, x) = u_0(x), \quad -\infty < x < \infty. \quad (2)$$

Как известно, если $\varphi''(u) \neq 0$, то существует единственное обобщенное решение задачи Коши (1), (2) при любой ограниченной измеримой функции $u_0(x)$; это решение может быть получено как предел при $\varepsilon \rightarrow 0$ решений уравнения

$$\varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \varphi(u)}{\partial x} \quad (\varepsilon > 0) \quad (3)$$

начальным условием (2) (см. обзорную статью ⁽¹⁾). Случай, когда $\varphi(u)$ меняет знак, изучался в работе ⁽²⁾ (см. также ⁽³⁾).

Будем считать, что функция $\varphi(u)$ дважды непрерывно дифференцируема, $\varphi''(u)$ имеет конечное число нулей на любом конечном интервале изменения u ; функции $u_0(x)$, $u'_0(x)$, $u''_0(x)$ при $-\infty < x < \infty$ ограничены и имеют конечное число точек разрыва.

Определение ⁽²⁾. Назовем обобщенным решением задачи Коши (1), (2) в полосе S ограниченную функцию $u(t, x)$ со следующими свойствами:

а) Функция $u(t, x)$ непрерывно дифференцируема всюду в S , кроме конечного числа гладких линий, на каждой из которых всюду (за исключением, быть может, конечного числа точек) существуют предельные значения для $u(t, x)$ по каждую сторону от линии разрыва.

б) Для любого кусочно-гладкого замкнутого контура Γ , лежащего в S и содержащего конечное число точек разрыва $u(t, x)$, справедливо равенство

$$\int_{\Gamma} u \, dx - \varphi(u) \, dt = 0. \quad (4)$$

в) Во всех точках непрерывности $u_0(x)$ функция $u(t, x)$ удовлетворяет условию (2).

г) Во всех точках (t, x) разрыва $u(t, x)$ (кроме, быть может, конечного числа их) выполняется «условие Е»: для любых значений ω , промежуточных между $u(t, x-0)$ и $u(t, x+0)$, имеет место неравенство

$$\frac{\varphi(\omega) - \varphi(u(t, x-0))}{\omega - u(t, x-0)} \geq \frac{\varphi(u(t, x+0)) - \varphi(u(t, x-0))}{u(t, x+0) - u(t, x-0)}. \quad (5)$$

В работах (^{2,3}) доказано, что так определенное обобщенное решение $u(t, x)$ задачи Коши (1), (2) существует в некоторой полосе S , единственно и устойчиво относительно изменения начальной функции. В настоящей заметке мы покажем, что $u(t, x)$ является пределом при $\varepsilon \rightarrow 0$ решений $u_\varepsilon(t, x)$ уравнения (3) с условием (2).

Вначале мы установим, что решения задачи Коши для уравнения

$$\varepsilon t \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \varphi(u)}{\partial x} \quad (6)$$

с кусочно-постоянной начальной функцией сходятся при $\varepsilon \rightarrow 0$ к соответствующему обобщенному решению уравнения (1); затем будет доказано, что решения задачи Коши для уравнения (3) с той же начальной функцией имеют тот же предел при $\varepsilon \rightarrow 0$. Опираясь на этот результат, получим доказательство сходимости u_ε к u в общем случае.

Лемма 1. Решения $u^\varepsilon(t, x)$ уравнения (6) в полуплоскости $t \geq 0$, удовлетворяющие начальному условию

$$u^\varepsilon(0, x) \equiv u_- \text{ при } x < 0; \quad u^\varepsilon(0, x) \equiv u_+ \text{ при } x > 0, \quad (7)$$

сходятся при $\varepsilon \rightarrow 0$ к обобщенному решению $u^*(t, x)$ задачи (1), (7) в каждой точке непрерывности $u^*(t, x)$.

Доказательство. Однозначная разрешимость задачи (6), (7) устанавливается методами § 5 работы (¹); функции u^ε зависят только от $\xi = x/t$, так как вид уравнения (6) и условия (7) не меняются при замене $x = kx'$, $t = kt'$.

Пусть для определенности $u_- < u_+$. Функция $u^*(t, x) \equiv u^*(\xi)$ строится в явном виде (⁴); она не убывает с ростом ξ , в точках непрерывности удовлетворяет либо равенству $\varphi'(u^*(\xi)) = \xi$, либо равенству $du^*(\xi)/d\xi = 0$, а в точках разрыва $\xi = \xi_i$ (число которых конечно) — соотношению

$$[u^*(\xi_i + 0) - u^*(\xi_i - 0)] \xi_i = \varphi(u^*(\xi_i + 0)) - \varphi(u^*(\xi_i - 0)). \quad (8)$$

Для функции с такими свойствами неравенство (5) равносильно неравенству

$$\int_{u_-}^u [\varphi'(w) - \xi^*(w)] dw \geq 0, \quad u_- \leq u \leq u_+, \quad (9)$$

где монотонная функция $\xi^*(u)$ определяется при $u_- < u < u_+$ следующим образом: $\xi^*(u) = \xi_i$ для $u^*(\xi_i - 0) < u < u^*(\xi_i + 0)$; если $\bar{u} = u^*(\bar{\xi})$ для некоторого $\bar{\xi}$, причем $\varphi'(u^*(\bar{\xi})) = \bar{\xi}$, то $\xi^*(\bar{u}) = \bar{\xi}$; если $\bar{u} = u^*(\bar{\xi})$ и $du^*(\bar{\xi})/d\xi = 0$, то $\xi^*(u)$ разрывна при $u = \bar{u}$.

Функции $u^\varepsilon(\xi)$ удовлетворяют при $-\infty < x < \infty$ уравнению

$$\varepsilon \frac{d^2 u^\varepsilon}{d\xi^2} = [\varphi'(u^\varepsilon) - \xi] \frac{du^\varepsilon}{d\xi} \quad (10)$$

и условиям

$$u^\varepsilon(-\infty) = u_-, \quad u^\varepsilon(+\infty) = u_+. \quad (11)$$

Легко установить, что $du^\varepsilon/d\xi > 0$ при $-\infty < \xi < \infty$ и $du^\varepsilon/d\xi \rightarrow 0$ при $\xi \rightarrow \pm\infty$. По теореме Хелли (⁵), стр. 496) некоторая последовательность $\{u^{\varepsilon_k}(\xi)\}$, где $\varepsilon_k \rightarrow 0$, сходится при каждом ξ , $-\infty < \xi < \infty$, к неубывающей ограниченной функции $\tilde{u}(\xi)$.

Покажем, что $\tilde{u}(\xi)$ является обобщенным решением задачи (1), (7). Нетрудно доказать, что $\tilde{u}(\xi) \equiv u_-$ при $\xi < \min_{u_- \leq u \leq u_+} \varphi'(u)$ и $\tilde{u}(\xi) \equiv u_+$ при

$\xi > \max_{u_- \leq u \leq u_+} \varphi'(u)$. Умножая (10) на финитную функцию $f(\xi)$, интегрируя по частям и переходя к пределу при $\varepsilon_k \rightarrow 0$, установим, что функция $\tilde{v}(\xi) = \xi \tilde{u}'(\xi) - \varphi(\tilde{u}(\xi))$ имеет на любом конечном отрезке обобщенную производную в смысле С. Л. Соболева ⁽⁶⁾, равную $\tilde{u}(\xi)$. Следовательно, $\tilde{v}(\xi)$ абсолютно непрерывна, и поэтому в точках разрыва $\tilde{u}(\xi)$ выполняется (8); кроме того, почти всюду $\tilde{v}'(\xi) = \tilde{u}(\xi)$, т. е. либо $\varphi'(\tilde{u}(\xi)) = \xi$, либо $\tilde{u}'(\xi) = 0$. Используя соотношение (8), монотонность $\tilde{u}(\xi)$ и тот факт, что $\varphi''(u)$ имеет лишь конечное число нулей при $u_- \leq u \leq u_+$, легко показать, что число точек разрыва $\tilde{u}(\xi)$ конечно.

Пусть $\xi^\varepsilon(u^\varepsilon(\xi)) \equiv \xi$ при $-\infty < \xi < \infty$, а $\tilde{\xi}(u)$ определяется по $\tilde{u}(\xi)$ так же, как $\xi^*(u)$ по $u^*(\xi)$. Очевидно, что $\xi^{\varepsilon_k}(u) \rightarrow \tilde{\xi}(u)$ при $u_- < u < u_+$. Имеем в силу (10)

$$\int_{u_-}^u [\varphi'(w) - \xi^\varepsilon(w)] dw = \int_{-\infty}^{\xi^\varepsilon(u)} [\varphi'(u^\varepsilon(\xi)) - \xi] \frac{du^\varepsilon(\xi)}{d\xi} d\xi = \varepsilon \frac{du^\varepsilon(\xi^\varepsilon(u))}{d\xi} > 0. \quad (12)$$

Можно показать, что функции $\xi^\varepsilon(u)$ имеют на отрезке $[u_-, u_+]$ равномерно абсолютно непрерывные интегралы; это позволяет перейти к пределу под знаком первого интеграла в (12) ⁽⁶⁾, стр. 168) и получить для $\tilde{\xi}(u)$ неравенство (9).

Из (8) вытекает равенство (4) для \tilde{u} ⁽¹⁾, стр. 7). Ввиду единственности обобщенного решения задачи (1), (7) $\tilde{u}(\xi) \equiv u^*(\xi)$, и любая последовательность $\{u^\varepsilon(\xi)\}$, где $\varepsilon \rightarrow 0$, сходится к $u^*(\xi)$ при $-\infty < \xi < \infty$.

Лемма 2. Решения $u_\varepsilon(t, x)$ задачи (3), (7) в полуплоскости $t \geq 0$ сходятся при $\varepsilon \rightarrow 0$ к функции $u^*(t, x)$; сходимость равномерная в каждой замкнутой ограниченной области, в которой $u^*(t, x)$ непрерывна.

Доказательство. Положим

$$U^*(t, x) = \int_{-\infty}^x [u^*(t, y) - u_-] dy,$$

$$U^\varepsilon(t, x) = \int_{-\infty}^x [u^\varepsilon(t, y) - u_-] dy, \quad U_\varepsilon(t, x) = \int_{-\infty}^x [u_\varepsilon(t, y) - u_-] dy$$

(существование этих интегралов доказывается как в ⁽⁷⁾). Вследствие леммы 1 $U^\varepsilon(t, x) \rightarrow U^*(t, x)$ всюду при $t \geq 0$. Рассматривая уравнения для разностей $U_{\varepsilon_1} - U_{\varepsilon_2}$, $U_{\varepsilon_1} - U^{\varepsilon_2}$ и пользуясь принципом максимума, получим, что $U_\varepsilon(t, x) \rightarrow U^*(t, x)$ равномерно в любой ограниченной замкнутой области. Отсюда вытекает утверждение леммы, так как $du_\varepsilon/dx \geq 0$.

Теорема. Пусть $u_0(x) \in C^{(2)}$ при $x \neq x_k$ и монотонна при $x_k - a \leq x < x_k$ и $x_k < x \leq x_k + a$, причем $\varphi''(u_0(x_k \pm 0)) \neq 0$ ($k = 1, \dots, n$; $a > 0$). Тогда решения $u_\varepsilon(t, x)$ задачи (3), (2) сходятся при $\varepsilon \rightarrow 0$ к обобщенному решению $u(t, x)$ задачи (1), (2) во всех точках непрерывности $u(t, x)$, принадлежащих некоторой полосе $S_0 \{0 \leq t \leq T_0, -\infty < x < \infty\}$ ($T_0 > 0$).

Для доказательства теоремы достаточно установить, что $u_\varepsilon \rightarrow u$ вне линий разрыва $u(t, x)$ в малых окрестностях Ω_k точек $(0, x_k)$ ($k = 1, \dots, n$). В Ω_k все линии разрыва $u(t, x)$ выходят из точки $(0, x_k)$; крайние из них являются, вообще говоря, кривыми типа ударной волны или контактного разрыва, остальные — прямыми линиями типа контактного разрыва. Применяя лемму 2 и пользуясь принципом максимума, доказываем, что $u_\varepsilon \rightarrow u$ равномерно в Ω_k вне областей, каждая из которых заключена между двумя ломаными, аппроксимирующими (с любой степенью точности) одну

и ту же линию разрыва $u(t, x)$. Отсюда следует утверждение теоремы для $\bigcup_k \Omega_k$. (Из уравнения для разности $u_\varepsilon - u$ с помощью принципа максимума получаем, что $u_\varepsilon \rightarrow u$ также и вне $\bigcup_k \Omega_k$ при $0 \leq t \leq T_0$, где $T_0 > 0$.)

Замечание. Если отказаться от условия $\varphi''(u_0(x_k \pm 0)) \neq 0$, то, используя приведенную выше теорему и теорему 2 из ⁽²⁾, можно доказать, что u_ε сходятся к u в L_2 .

Автор выражает благодарность проф. О. А. Олейник за ряд ценных указаний.

Математический институт им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
30 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ О. А. Олейник, Усп. матем. наук, **12**, в. 3 (75), 3 (1957). ² О. А. Олейник, Усп. матем. наук, **14**, в. 2 (86), 167 (1959). ³ О. А. Олейник, Научн. докл. Вышш. школы, № 3 (1958). ⁴ И. М. Гельфанд, Усп. матем. наук, **14**, в. 2 (86) (1959). ⁵ И. П. Натансон, Теория функций вещественной переменной, М., 1957. ⁶ С. Л. Соболев, Некоторые применения функционального анализа в математической физике, Л., 1950. ⁷ А. М. Ильин, О. А. Олейник, ДАН, **120**, № 1, 25 (1958).

М. М. ЛАВРЕНТЬЕВ

ОБ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЯХ ПЕРВОГО РОДА

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 31 III 1959)

Рассмотрим уравнение

$$A\varphi = f, \quad (1)$$

где A — вполне непрерывный оператор. Как известно, задача об определении функции φ по заданной функции f в классическом смысле некорректна, так как, вообще говоря, сколь угодно малым вариациям функции f могут соответствовать сколь угодно большие вариации φ . Как и при рассмотрении задачи Коши для эллиптических уравнений (см. ⁽¹⁾), задача становится корректной, если сузить класс рассматриваемых решений. Классы корректности будут зависеть от оператора A .

В настоящей заметке предложен метод эффективного решения уравнения (1), причем класс корректности и оценки, характеризующие корректность решения, предполагаются известными. Под эффективным методом решения мы понимаем такой алгоритм, который дает возможность вычислять значения функции φ с некоторой гарантированной степенью точности по приближенным значениям функции f (см. ⁽¹⁾).

Рассмотрен случай, когда класс корректности является образом сферы гильбертова пространства, после применения к пространству вполне непрерывного оператора.

Итак, пусть

$$\varphi = B\psi, \quad \|\psi\| = 1,$$

где B — некоторый вполне непрерывный оператор, и пусть имеет место следующее утверждение:

Если функция u удовлетворяет неравенствам

$$\|u\|_{L_2} \leq 1, \quad \|ABu\|_{L_2} \leq \varepsilon,$$

то справедливо и неравенство

$$\|Bu\|_{L_2} \leq \delta(\varepsilon).$$

Сначала рассмотрим случай, когда AB есть положительный оператор. Обозначим через φ_ε функцию

$$\varphi_\varepsilon = B(AB + \varepsilon E)^{-1} f$$

оценим разность

$$\varphi - \varphi_\varepsilon = \varepsilon B(AB + \varepsilon E)^{-1} \psi.$$

Легко видеть, что функция

$$\omega = \varepsilon(AB + \varepsilon E)^{-1} \psi$$

удовлетворяет неравенствам

$$\|\omega\| \leq 1, \quad \|AB\omega\| \leq \varepsilon.$$

Следовательно,

$$\|\varphi - \varphi_\varepsilon\| = \|B\omega\| \leq \delta(\varepsilon). \quad (2)$$

Пусть теперь оператор AB положительный. Рассмотрим вместо уравнения (1) уравнение

$$(AB)^*A\varphi = f', \quad (1')$$

где $f' = (AB)^*f$.

Легко видеть, что имеет место следующее утверждение:

Если функция u удовлетворяет неравенствам

$$\|u\| \leq 1, \quad \|(AB)^*ABu\| \leq \varepsilon,$$

то справедливо и неравенство

$$\|Bu\| \leq \delta(\sqrt{\varepsilon}).$$

Оператор $(AB)^*AB$ положительный, и, таким образом, общий случай сводится к рассмотренному.

Отметим, что если вместо условия $\|\phi\| \leq 1$ имеет место условие $\|\phi\| \leq M$, то вместо (2) мы получим неравенство

$$\|\varphi - \varphi_\varepsilon\| \leq M\delta\left(\frac{\varepsilon}{M}\right).$$

Для вычисления φ_ε можно воспользоваться следующим представлением оператора $(AB + \varepsilon E)^{-1}$:

$$(AB + \varepsilon E)^{-1} = \frac{1}{\lambda + \varepsilon} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(\lambda + \varepsilon)^k} (\lambda E - AB)^k,$$

где $\lambda \geq \|AB\|$.

Пусть теперь функция f известна приближенно с точностью до α , т. е. известна функция f_α , так что

$$\|f_\alpha - f\| \leq \alpha, \quad (3)$$

и требуется по функции f_α определить с некоторой гарантированной степенью точности функцию φ .

Обозначим через $\varphi_{\alpha\varepsilon}$ функцию

$$\varphi_{\alpha\varepsilon} = B(AB + \varepsilon E)^{-1}f_\alpha$$

и оценим разность $\varphi - \varphi_{\alpha\varepsilon}$. В силу (2), (3) имеем

$$\|\varphi - \varphi_{\alpha\varepsilon}\| \leq \|\varphi - \varphi_\varepsilon\| + \|\varphi_\varepsilon - \varphi_{\alpha\varepsilon}\| \leq \delta(\varepsilon) + b \frac{\alpha}{\varepsilon} \quad (b = \|B\|).$$

Наилучшая оценка получится, очевидно, в случае, когда

$$\delta(\varepsilon) = b \frac{\alpha}{\varepsilon}. \quad (4)$$

Таким образом, если функция f известна с точностью до α , число ε следует брать таким, чтобы выполнялось равенство (4). В этом случае полученная функция $\varphi_{\alpha\varepsilon}$ будет отличаться от искомой функции φ в метрике L_2 не более чем на $2\delta(\varepsilon)$.

К интегральным уравнениям 1 рода сводится ряд задач математической физики, в частности задача Коши для эллиптических уравнений. Приведем один пример. Пусть $u(x, y)$ — гармоническая функция, регулярная в пря-

прямоугольнике $0 \leq x \leq \pi$, $0 \leq y \leq 1$ и удовлетворяющая соотношениям

$$u(0, y) = u(\pi, y) = u(x, 0) = 0, \quad \int_0^\pi u^2(x, 1) dx \leq M.$$

Пусть, далее, известна функция

$$f(x) = \frac{\partial}{\partial y} u(x, 0)$$

требуется по функции $f(x)$ определить функцию $u(x, y)$ внутри прямоугольника.

Сформулированная постановка (задача Коши для уравнения Лапласа) была рассмотрена в работе (1). Легко видеть, что задача определения функции $u(x, y_0)$ при фиксированном $y_0 < 1$ сводится к решению интегрального уравнения I рода в рассмотренной постановке. Оператор A в данном случае состоит в том, что в прямоугольнике $0 \leq x \leq \pi$, $0 \leq y \leq y_0$ решается задача Дирихле с граничными условиями

$$u(0, y) = u(\pi, y) = u(x, 0) = 0, \quad u(x, y_0) = \varphi(x)$$

затем от полученного решения $u(x, y)$ берется производная по y на отрезке $0 \leq x \leq \pi$, $y = 0$, т. е.

$$f = A\varphi = \frac{\partial}{\partial y} u(x, 0).$$

Оператор B состоит в том, что в прямоугольнике $0 \leq x \leq \pi$, $0 \leq y \leq 1$ решается задача Дирихле с граничными условиями

$$u(0, y) = u(\pi, y) = u(x, 0) = 0, \quad u(x, 1) = \psi(x)$$

затем решение рассматривается как функция x при $y = y_0$, т. е.

$$\varphi = B\psi = u(x, y_0).$$

Оценка устойчивости (см. (1)) в данном случае имеет вид:

Из неравенств

$$\|\psi\|_{L_2} \leq 1, \quad \|AB\psi\|_{L_2} \leq \varepsilon$$

следует неравенство

$$\|B\psi\|_{L_2} \leq \varepsilon^{1-y_0} y_0.$$

Поступило
4 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. М. Лаврентьев, Изв. АН СССР, сер. матем., 20, № 6 (1956),

С. Н. СЛУГИН

ДВУСТОРОННЯЯ ОЦЕНКА РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 14 III 1959)

1. В работе ⁽¹⁾ поставлена задача построения элементов a, b , дающих двустороннюю оценку $a \leq x \leq b$ искомого решения x уравнения, заданного на частично упорядоченном множестве X ⁽²⁾. Двусторонняя оценка более точна, чем обычная (по норме (даже обобщенной) или модулю) вида $|x - a| \leq \varepsilon$. Элементы a, b могут быть найдены, например, на основании предложений работ ^(1,3), где элементы берутся в исходном пространстве X . В настоящей работе на основе идей, изложенных в ⁽²⁾, стр. 474 и ⁽⁴⁾, стр. 107, производится построение элементов в результате использования некоторого пространства \bar{X} более простой природы, чем исходное X , что облегчает практические приложения.

2. Пусть X — K -пространство ⁽²⁾, X' — его линейное полуупорядоченное подпространство (полное), причем для каждого элемента $x \in X$ существуют $a, b \in X'$ такие, что $a \leq x \leq b$ в X ; \bar{X} — K -пространство, изоморфное K -пространству X' . Из определения изоморфизма K -пространств ⁽²⁾ $\varphi\bar{X} = X'$ следуют аддитивность, однородность, положительность φ и φ^{-1} , инвариантность грани в преобразованиях φ, φ^{-1} и, следовательно, (o) -непрерывность φ и φ^{-1} .

В дальнейшем H означает оператор, переводящий X в себя, $\Gamma — X'$ в себя. Определим оператор $\bar{\Gamma}$, переводящий \bar{X} в себя, формулой $\bar{\Gamma}\varphi^{-1}x' = \varphi^{-1}\Gamma x'$. Очевидно, изоморфизм сохраняет положительность и обратимость операторов, $\bar{\Gamma}^{-1}\varphi^{-1}x' = \varphi^{-1}\Gamma^{-1}x'$. Обозначим $Ix = x, Jx = \bar{x}$.

3. Вначале рассмотрим специальный случай уравнения $Nx = y$, когда $N^{-1} > 0$.

Лемма 1. Если $N_1 > N_2$ аддитивны и положительно-обратимы, то $N_1^{-1} < N_2^{-1}$.

Теорема 1. Если $N \geq \Gamma$ на X' , операторы N и Γ аддитивны и положительно-обратимы (N на X), то, взяв в \bar{X} произвольные элементы u, v , удовлетворяющие неравенствам в X $\varphi u \leq -u_-, \varphi v \geq u_+$, получим $\varphi\bar{\Gamma}^{-1}u \leq x^* \leq \varphi\bar{\Gamma}^{-1}v$, где x^* — решение уравнения $Nx = y$.

4. Для положительной обратимости оператора достаточно условий теоремы 2 работы ⁽³⁾. Практически удобным является также другой признак.

Лемма 2. Если N и Γ (o) -линейны и на X' $|N| \leq \Gamma$, на \bar{X} $(J - \bar{\Gamma})^{-1} > 0$, то $I - N$ обратим, причем $|x^*| = |(I - N)^{-1}y| \leq \varphi(J - \bar{\Gamma})^{-1}u$ для $\varphi u \geq |y|$. Если $N > 0$, то $(I - N)^{-1} > 0$.

Действительно, уравнение $x' - \Gamma x' = \varphi u$ является мажорантным для $x - Nx = y$.

5. Перейдем к более общему случаю, когда в уравнении $x - Nx = y$ оператор $I - N$ не обязательно положительно-обратим. Пусть $N, N', N'' —$

регулярные операторы класса H_0^0 ⁽²⁾; H переводит X в себя; H', H'' переводят X в X' и $0 \leq H'x \leq H^+x$, $0 \leq H''x \leq H^-x$ ($x > 0$, $x \in Y$), где $Y = X$ либо $Y = X'$. Обозначим через Γ', Γ'' сужения на X' операторов H', H'' : $\Gamma'x' = H'x'$, $\Gamma''x' = H''x'$, и положим $A = \Gamma' + \Gamma''$, $B = \Gamma' - \Gamma''$. Тогда соответствующие операторы \bar{A}, \bar{B} будут, очевидно, регулярными класса H_0^0 на \bar{X} ; \bar{A} положителен.

Теорема 2. Выберем A таким, чтобы $(J - \bar{A})^{-1} > 0$, и определим элементы \bar{x}, \bar{x} системой

$$(J - \bar{A})(\bar{x} - \underline{x}) = \bar{y} - \underline{y} + z, \quad (J - \bar{B})(\bar{x} + \underline{x}) = \bar{y} + \underline{y},$$

где $\bar{y}, \underline{y}, z$ — произвольные элементы из \bar{X} , для которых выполняются неравенства в X

$$\varphi \underline{y} \leq \underline{y} \leq \varphi \bar{y}, \quad \varphi z \geq 2(|H| + \alpha A)x_1;$$

$\in X'$ — оценка по модулю решения x^* уравнения $x - Hx = y$: $x_1 \geq |x^*|$; $\alpha = 1$ при $Y = X'$; $\alpha = -1$ при $Y = X$.

Тогда $\varphi x \leq x^* \leq \varphi \bar{x}$ в X .

Выбор указанного A всегда возможен, так как можно, например, принять $A = 0$. Для существования x^* достаточно ⁽²⁾ существования положительного решения x_0 мажорантного уравнения $x - |H|x = |y|$, тогда можно принять $x_1 \geq x_0$, а для этого достаточно условий леммы 2, при выполнении которых можно принять $x_1 = \varphi(J - \bar{\Gamma})^{-1}\bar{u}$.

Доказательство теоремы 2 близко к доказательству подобного предложения 3.23 главы 12 ⁽²⁾. Для случая $A = 0$, т. е. $\underline{x} = \underline{y} - z$, $\bar{x} = \bar{y} + z$, $\varphi \bar{x}, \varphi z \geq |H|x_1$, непосредственное доказательство просто:

$$\varphi \bar{x} = \varphi(\bar{y} + z) \geq \underline{y} + |H|x_1 \geq \underline{y} + |H||x^*| \geq \underline{y} + |Hx^*| \geq \underline{y} + Hx^* = x^*.$$

6. Приведем пример приложения теоремы 2 к функциональному уравнению

$$x(s) - \lambda SH(s, t)x(t) = y(s),$$

где число $\lambda > 0$ и S означает один из символов: $\sum_{t=1}^m$, $\sum_{t=1}^{\infty}$, $\int_0^1 \cdot dt$, $\int_0^{\infty} \cdot dt$.

Требуем, чтобы $S|H(s, t)| < +\infty$. Обозначим $Hx = \lambda SH(s, t)x(t)$. Неудно доказать, что $H^+x = \lambda SH(s, t)_+x(t)$, где $H(s, t)_+$ — положительная часть величины $H(s, t)$. Подобный вид имеет и H^- . В X установлены естественные линеаризация и частичное упорядочение.

Разделив множество значений t (и s) на n частей, на которых имеет смысл оператор $S_k = S$ для $t \in e_k$. В случае бесконечной алгебраической системы можно принять, например, $e_n = \{p, \infty\}$, $p \geq n$. Для сингулярного интегрального уравнения можно взять $e_n = (b, \infty)$, $b > 0$.

В качестве пространства X' будет выступать множество всех «ступенчатых» элементов $x'(t) = \xi_k$ на e_k ; \bar{X} — пространство векторов $\{\xi_k\}$.

Определим произвольные числа a'_{ik}, a''_{ik} неравенствами $0 \leq a'_{ik} \leq \lambda S_k H(s, t)_+$, $0 \leq a''_{ik} \leq \lambda S_k H(s, t)_-$, $s \in e_i$ и положим $(H'x')(s) = \sum_{k=1}^n a'_{ik} \xi_k$

и $s \in e_i$. Аналогично определим H'' . В этом случае $Y = X'$. Если же $0 \leq a'_{ik} \leq \lambda S_k \inf_{t \in e_k} H(s, t)_+$, $0 \leq a''_{ik} \leq \lambda S_k \inf_{t \in e_k} H(s, t)_-$, $s \in e_i$ ($a_{ik} = 0$ для не-

ограниченного множества e_k), то, полагая $(H'x)(s) = \sum_{k=1}^n a'_{ik} S_k x(t) / S_k 1$ при

$s \in e_i$ и аналогично для H'' , приходим к выводу, что $Y = X$.

Составим $a_{ik} = a'_{ik} + a''_{ik}$, $b_{ik} = a'_{ik} - a''_{ik}$ и потребуем положительной обратимости линейного преобразования $J - \bar{A}$ с матрицей $\|\delta_{ik} - a_{ik}\|$, $\delta_{ii} = 1$, $\delta_{ik} = 0$ при $i \neq k$ (например, все $a_{ik} = 0$).

Определим числа η_i , ξ_i (стараясь подбирать η_i , $-\eta_i$, ξ_i меньшими) неравенствами

$$\underline{\eta}_i \leq y(t) \leq \bar{\eta}_i \text{ на } e_i; \quad \xi_i \geq 2 \sum_{k=1}^n [\lambda S_k |H(s, t)| + \alpha a_{ik}] \xi'_k \text{ при } s \in e_i,$$

где $\xi'_k \geq |x^*(t)|$ на e_k , выбор α указан в теореме 2. Например, по лемме 2 можно определить функцию $x_1(s) = \xi'_k$ на e_k системой

$$\xi'_i - \sum_{k=1}^n c_{ik} \xi'_k = u_i, \quad \text{где } c_{ik} \geq \lambda S_k |H(s, t)| \text{ при } s \in e_i, \quad u_i \geq |y(t)| \text{ на } e_i.$$

Здесь требуется положительная обратимость линейного преобразования $J - \bar{A}$ с матрицей $\|\delta_{ik} - c_{ik}\|$. Это имеет место при достаточно малом λ :

Лемма 3. *Линейное преобразование с матрицей $\|\delta_{ik} - \lambda d_{ik}\|$, где все $d_{ik} \geq 0$, положительно-обратимо при $0 \leq \lambda \sum_{k=1}^n d_{ik} < 1$.*

Менее жесткие условия малости параметра λ можно получить при использовании леммы 2 и абстрактной нормы пространства типа (B_K) ((²), стр. 477). Тогда, по теореме 2, числа ξ_k , определенные системой

$$\sum_{k=1}^n (\delta_{ik} - a_{ik}) (\bar{\xi}_k - \xi_k) = \bar{\eta}_i - \eta_i + \xi_i, \quad \sum_{k=1}^n (\delta_{ik} - b_{ik}) (\bar{\xi}_k + \xi_k) = \bar{\eta}_i + \eta_i,$$

удовлетворяют неравенствам $\bar{\xi}_k \leq x^*(t) \leq \xi_k$ на e_k .

7. Попутно отметим, что предложенный выбор пространства X' вообще обеспечивает большую близость соответствующего оператора \bar{H} к заданному на X оператору H , чем в условиях (⁴), стр. 121. А именно: $\xi = 0$ в обозначениях (⁴), если положить там $a_{ik} = \lambda S_k H(s_i, t)$ (s_i — фиксированная точка участка e_i).

8. Аналогичную конкретизацию допускает и теорема 1 в указанном классе уравнений. Под символ S можно подвести и другие классы функциональных операторов.

Казанский государственный университет
им. В. И. Ульянова-Ленина

Поступило
11 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. В. Азбелев, З. Б. Цалюк, Укр. матем. журн., 10, № 1, 3 (1958).
² Л. В. Канторович, Б. З. Вулих, А. Г. Пинскер, Функциональный анализ в полуупорядоченных пространствах, 1950. ³ С. Н. Слугин, ДАН, 120, № 3, 472 (1958). ⁴ Л. В. Канторович, Усп. матем. наук, 3, в. 6(28), 89 (1948).

М. З. СОЛОМЯК

**АНАЛИТИЧНОСТЬ ПОЛУГРУППЫ, ПОРОЖДЕННОЙ
ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ОПЕРАТОРОМ В ПРОСТРАНСТВАХ L_p**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 30 III 1959)

1. В ряде работ (например ⁽¹⁻³⁾) при исследовании параболических уравнений и систем использовался тот факт, что эллиптический оператор является производящим для некоторой полугруппы ⁽⁴⁾ линейных ограниченных операторов. Однако свойства этой полугруппы оставались недостаточно изученными. Так, даже когда исследование велось в гильбертовом пространстве, отмечалась и использовалась лишь сильная непрерывность этой полугруппы.

В настоящей заметке устанавливается, что в пространствах L_p ($p > 1$) полугруппа, порожденная эллиптическим (в случае системы сильно эллиптическим ⁽⁵⁾) оператором с однородными граничными условиями первого рода, аналитична в некотором секторе. Это показывает, что к исследованию параболических уравнений и систем в L_p применимы результаты настоящей заметки ⁽⁶⁾.

2. Укажем предварительно некоторые свойства, которыми обладают производящие операторы аналитических полугрупп. Пусть полугруппа (ξ) , производящим оператором которой является — A , аналитична в некотором секторе, и пусть спектр A лежит правее мнимой оси. Тогда для оператора A сохраняют силу многие результаты, касающиеся самосопряженных положительно-определенных операторов в гильбертовом пространстве. Так, способом, указанным в ⁽⁶⁾, строятся дробные степени A ; ⁽⁶⁾ установлено, что операторы $A^\alpha T(\xi)$ ($\alpha \geq 0$) ограничены и их нормы удовлетворяют неравенству

$$\|A^\alpha T(\xi)\| \leq \frac{C_\alpha}{\xi^\alpha}. \quad (1)$$

для самосопряженных положительно-определенных операторов в гильбертовом пространстве это неравенство получено и широко использовано в ⁽⁷⁾.

В заметке ⁽⁸⁾ введено следующее понятие: пусть самосопряженный положительно-определенный оператор A и произвольный оператор B ($D(B) \supset D(A)$) в гильбертовом пространстве связаны тем условием, что при некоторых $\gamma < 1$ для всех $x \in D(A)$ имеет место неравенство

$$\|Bx\| \leq K_\gamma \|A^\gamma x\|. \quad (2)$$

Пусть α — нижняя грань тех γ , для которых (2) выполнено. Тогда B называется оператором дробного порядка α относительно A . В ⁽⁸⁾ найден также удобный критерий дробности порядка. Как само понятие, так и упомянутый критерий оказались весьма полезными во многих вопросах ^(9,10).

Понятие оператора дробного порядка сохраняет смысл и для рассматриваемого нами класса операторов в банаховых пространствах. Важно,

что критерий заметки ⁽⁸⁾ переносится и на наш случай. Именно, имеет место:

Теорема 1. Пусть оператор A таков, что полугруппа $T(\xi) = \exp[-\xi A]$ аналитична, и спектр A лежит в правой полуплоскости. Для того чтобы данный оператор B имел дробный порядок относительно A , необходимо, чтобы при всех $x \in D(A)$, $\gamma > \alpha$, $\delta > 0$ выполнялось неравенство

$$\|Bx\| \leq K_1 \delta^{1-\gamma} \|Ax\| + K_2 \delta^{-\gamma} \|x\| \quad (3)$$

(K_1, K_2 не зависят от δ, x) и, если B допускает замыкание, то достаточно, чтобы неравенство (3) выполнялось для всех $\delta \leq \delta_0$ ($\delta_0 > 0$).

Достаточность доказывается так же, как в ⁽⁸⁾, доказательство необходимости опирается на (1).

3. Пусть Ω — конечная область n -мерного евклидова пространства R_n , ограниченная достаточно гладкой границей Γ . В замкнутой области $\bar{\Omega}$ рассматривается уравнение

$$\lambda u - Au = f(x) \quad (\lambda = \sigma + i\tau) \quad (4)$$

с граничными условиями

$$u \Big|_{\Gamma} = \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = \dots = \frac{\partial^{m-1} u}{\partial n^{m-1}} \Big|_{\Gamma} = 0. \quad (5)$$

В уравнении (4)

$$Au = (-1)^m \sum_{\alpha_1 + \dots + \alpha_n = 2m} a_{\alpha_1, \dots, \alpha_n}(x) \frac{\partial^{2m} u}{\partial x_1^{\alpha_1} \dots \partial x_n^{\alpha_n}} + Tu \quad (6)$$

(символом Tu обозначены младшие члены). Функция $u(x)$ считается комплекснозначной; коэффициенты дифференциального выражения (6) вещественны, причем старшие коэффициенты m раз непрерывно дифференцируемы, остальные ограничены. Предполагается выполненным условие равномерной эллиптичности: существует такая постоянная $\gamma_0 > 0$, что для всех $x \in \bar{\Omega}$

$$\sum_{\alpha_1 + \dots + \alpha_n = 2m} a_{\alpha_1, \dots, \alpha_n}(x) l_1^{\alpha_1} \dots l_n^{\alpha_n} \geq \gamma_0 (l_1^2 + \dots + l_n^2)^m.$$

В случае системы оператор Au , входящий в уравнение (4), предполагается сильно эллиптическим.

Теорема 2. Пусть эллиптический (в случае системы сильно эллиптический) оператор (6)—(5) является самосопряженным положительно-определенным (в смысле L_2). Тогда при всяком λ , не лежащем на полуоси $\lambda > 0$, задача (4)—(5) для любой $f(x) \in L_p(\Omega)$ ($p > 1$) имеет единственное обобщенное решение $u(x) \in W_p^{2m}(\Omega)$, и это решение удовлетворяет неравенству

$$\|u\|_{W_p^{2m}(\Omega)} \leq C_1 \|f\|_{L_p(\Omega)}. \quad (7)$$

Неравенство (7) выполняется равномерно относительно λ в любом секторе S_φ : $\varphi \leq \arg \lambda \leq 2\pi - \varphi$ ($\varphi > 0$).

Теорема 3. Пусть Au — сильно эллиптический оператор порядка $2m$ с граничными условиями (5), представляющий собой (в смысле L_2) сумму самосопряженного положительно-определенного оператора и кососимметрического оператора. Тогда существует такой угол $\varphi_0 < \pi/2$, что при всяком $\lambda \in S_\varphi$ ($\varphi > \varphi_0$) задача (4)—(5) для любой $f(x) \in L_p(\Omega)$ ($p > 1$) имеет единственное обобщенное решение $u(x) \in W_p^{2m}(\Omega)$, и это решение равномерно относительно $\lambda \in S_\varphi$ удовлетворяет неравенству (7).

При доказательстве теорем 2 и 3 используется осуществленное О. В. Гусевой⁽¹¹⁾ построение функции Грина первой краевой задачи для эллиптического уравнения и сильно эллиптической системы и теорема С. Г. Михли⁽¹²⁾ о мультипликаторах интегралов Фурье. К изучению уравнений и систем (не содержащих комплексного параметра) в L_p метод, основанный на использовании этих результатов, применил А. И. Кошелев^(13,14), у которого мы заимствовали методику проведения оценок. Важную роль в доказательстве играют также неравенства типа теорем вложения, содержащие малый коэффициент при старших производных^(9,15,16).

Из теорем 2 и 3 легко выводится:

Теорема 4. Пусть оператор A удовлетворяет условиям теоремы 2 или 3. Тогда для резольвенты $R(\lambda; A) = (\lambda I - A)^{-1}$ оператора A при $\lambda \in S_\Phi$ выполняется неравенство

$$\|R(\lambda; A)\|_{L_p} \leq \frac{C_2}{|\lambda|+1}. \quad (8)$$

Применение теоремы 1 нашей заметки⁽⁶⁾ приводит к следующему утверждению.

Теорема 5. Пусть оператор A удовлетворяет условиям теоремы 2 или 3. Тогда $-A$ является производящим оператором для полугруппы, аналитической в некотором секторе комплексной плоскости.

Используя теорему 4 статьи⁽⁹⁾ и теоремы 1—4 настоящей статьи, нетрудно доказать, что имеет место

Теорема 6. Пусть выполнены условия теоремы 2 или 3. Тогда, каково бы ни было целое положительное число $l < 2t$, оператор дифференцирования порядка l является по отношению к A оператором дробного порядка $l/2t$.

С помощью теоремы 7 заметки⁽⁶⁾ отсюда выводится следующий результат.

Теорема 7. Пусть выполнены условия теоремы 2 или 3. Если B — дифференциальный оператор порядка $< 2t$ с ограниченными коэффициентами, то для оператора $A + B$ утверждения теорем 2—4 сохраняют силу для всех $\lambda \in S_\Phi$, лежащих вне достаточно большого круга; полностью сохраняет силу утверждение теоремы 5.

Поступило
27 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. D. Lax, A. N. Milgram, Ann. of Math. Stud., № 33 (1954). ² В. Э. Лянцэ, Матем. сборн., 35 (77), 2 (1954). ³ S. Ito, Japanese J. Math., 27 (1957). ⁴ Э. Хилл, Функциональный анализ и полугруппы, ИЛ, 1951. ⁵ М. И. Вишик, Матем. сборн., 29 (71), 3 (1951). ⁶ М. З. Соломяк, ДАН, 122, № 5 (1958). ⁷ М. А. Красносельский, С. Г. Крейн, П. Е. Соболевский, ДАН, 112, № 6 (1957). ⁸ С. Г. Крейн, П. Е. Соболевский, ДАН, 118, № 2 (1958). ⁹ В. П. Глушко, С. Г. Крейн, ДАН, 122, № 6 (1958). ¹⁰ М. А. Красносельский, Е. И. Пустыльник, ДАН, 122, № 6 (1958). ¹¹ О. В. Гусева, ДАН, 102, № 6 (1955). ¹² С. Г. Михлин, ДАН, 109, № 4 (1956). ¹³ А. И. Кошелев, ДАН, 116, № 4 (1957). ¹⁴ А. И. Кошелев, Усп. матем. наук, 13, в. 4 (82) (1958). ¹⁵ А. А. Киселев, О. А. Ладыженская, Изв. АН СССР, сер. матем., 21, 655 (1957). ¹⁶ В. П. Ильин, ДАН, 123, № 6 (1958).

К. М. ФИШМАН

К ВОПРОСУ О ЛИНЕЙНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 28 II 1959)

В настоящей заметке рассматривается связь между линейными преобразованиями аналитических пространств и линейными операторами в банаховых пространствах. Эта связь позволяет, в частности, дать простое геометрическое объяснение ряда результатов работ ⁽¹⁻⁵⁾ и указать их обобщение.

1. Пусть $\{B_r\}_{r>0}$ — семейство банаховых пространств, подчиненных условиям: 1) B_r является всюду плотным линеалом в $B_{r'}$ ($r' < r$) по $\|\cdot\|_{r'}$ в $B_{r'}$; 2) $\|\cdot\|_r$ является неубывающей функцией от r . Обозначим через \mathfrak{M}_r проективный предел семейства $\{\tilde{B}_{r'}\}_{r'<r}$ и через $\bar{\mathfrak{M}}_r$ индуктивный предел семейства $\{B_{r''}\}_{r''>r}$ ^(8, 9). Через \tilde{B}_r , \mathfrak{M}_r и $\bar{\mathfrak{M}}_r$ мы в дальнейшем будем обозначать пространства, связанные между собою описанным образом.

Теорема 1. Для того чтобы линейный оператор A непрерывно отображал пространства: 1) \mathfrak{M}_r в $\bar{\mathfrak{M}}_{r_0}$; 2) \tilde{B}_r в $\bar{\mathfrak{M}}_{r_0}$; 3) \mathfrak{M}_r в $\tilde{\mathfrak{M}}_{r_0}$; 4) $\bar{\mathfrak{M}}_r$ в $\tilde{\mathfrak{M}}_{r_0}$, необходимо и достаточно существование функции $\rho(r)$ такой, чтобы A являлся линейным ограниченным оператором из B_r в $B_{\rho(r)}$ при соответствующем выполнении условий: 1) $\rho(r)$ определена на отрезке $[r_0 - \eta, r_0]$ при некотором $\eta > 0$, $\rho(r) < \rho_0$ и $\lim_{r \rightarrow r_0 - 0} \rho(r) = \rho_0$; 2) $\rho(r)$ — некоторая функция, определенная для $r > r_0$, $\rho(r) > \rho_0$; 3) $\rho(r)$, определена при некотором $r < r_0$, $\rho(r) > \rho_0$; 4) $\rho(r)$ — любая функция, определенная для $r > r_0$, $\rho(r) < \rho_0$ *.

В частности, при совпадении пространств B_r или \tilde{B}_r получим:

Следствие. Для того чтобы линейный оператор A непрерывно отображал: 1) банахово пространство B в \mathfrak{M}_{r_0} ; 2) B в $\bar{\mathfrak{M}}_{r_0}$; 3) \mathfrak{M}_{r_0} в B ; 4) $\bar{\mathfrak{M}}_{r_0}$ в B , необходимо и достаточно, чтобы A был линейным ограниченным оператором соответственно: 1) из B в B_r при любом $r < r_0$; 2) из B в B_r при некотором $r > r_0$; 3) из B_r в B при любом $r < r_0$; 4) из B_r в B при любых $r > r_0$.

Утверждения теоремы следуют в основном из свойств линейных преобразований общих проективных и индуктивных пределов (см. ⁽⁸⁾, § 2, предложения 2—4). Для случая, сформулированного выше, доказательство может быть получено непосредственно из связи сходимостей в пространствах B_r , \mathfrak{M}_r и $\bar{\mathfrak{M}}_r$.

Пусть B_r реализуется как пространство всех $\{f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n\}$ с $\|f\|_r = \sum_{n=0}^{\infty} |a_n| r^n < \infty$. Тогда \mathfrak{M}_r и $\bar{\mathfrak{M}}_r$ являются соответственно пространствами

* В достаточных условиях имеется в виду, что результат действия A не зависит от r .

аналитических функций в кругах $|z| < r$ и $|z| \leq r$. Рассмотрим линейный оператор A , определенный на линеале, порожденном $\{z^n\}_0^\infty$ по формулам

$$z^n = \sum_{m=0}^{\infty} a_{mn} z^m = y_n^*.$$

В силу теоремы 1 и общего вида линейного ограниченного оператора в пространстве l_1 (?) получим:

Для того чтобы оператор A непрерывно отображал аналитическое пространство: 1) \mathfrak{A}_{r_0} в \mathfrak{A}_{r_0} ; 2) $\bar{\mathfrak{A}}_{r_0}$ в $\bar{\mathfrak{A}}_{r_0}$; 3) \mathfrak{A}_{r_0} в $\bar{\mathfrak{A}}_{r_0}$; 4) $\bar{\mathfrak{A}}_{r_0}$ в \mathfrak{A}_{r_0} , необходимо и достаточно выполнения условия

$$\sup_n \sum_{k=0}^{\infty} |a_{kn}| \frac{\rho^k(r)}{r^n} < \infty, \quad (1)$$

где функция $\rho(r)$ подчинена соответственно условиям: 1) $\rho(r)$ определена на $[r_0 - \eta, r_0]$ при некотором $\eta > 0$, $\rho(r) < \rho_0$ и $\lim_{r \rightarrow r_0 - 0} \rho(r) = \rho_0$; 2) $\rho(r)$ — некоторая функция, определенная для $r > r_0$, $\rho(r) > \rho_0$; 3) $\rho(r)$ определена при некотором $r < r_0$, $\rho(r) > \rho_0$; 4) $\rho(r)$ — любая функция, определенная для $r > r_0$, $\rho(r) < \rho_0$.

Из (1) легко получить условия, данные М. Г. Хаплановым (см. (1)), теоремы 1—4) на основе теории пространств последовательностей, развитой в (6).

Замечание 1. Рассматривая другие виды пространств B_r , можно придать условиям (1) другую форму.

Замечание 2. В случае 1) и $r_0 = \rho_0$ нельзя заменить $\rho(r)$ через r . Действительно, матрица $[a_{ik}]$, $a_{ik} = q^k$ при $k > 2i$, $a_{ik} = 1$ при $k \leq 2i$, отображает непрерывно \mathfrak{A}_1 в \mathfrak{A}_1 и в то же время является неограниченным оператором из B_r в B_r при любом $r < 1$.

2. Всюду в дальнейшем будем предполагать дополнительно, что B_r вполне непрерывно вложено в $B_{r'}$ ($r' < r$). Отметим, что рассмотренная выше реализация B_r обладает этим свойством, что непосредственно следует из общего вида вполне непрерывного оператора в l_1 (?).

Из следствия теоремы 1 может быть получена

Теорема 2. Для того чтобы линейный оператор A отображал непрерывно аналитическое пространство \mathfrak{A}_{r_0} (соответственно $\bar{\mathfrak{A}}_{r_0}$) в банахово пространство B , необходимо и достаточно, чтобы $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\|y_n\|} < r_0$

соответственно $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\|y_n\|} \leq r_0$, где $y_n = Az^n \in B$ ($n = 0, 1, \dots$).

Теорема 3. Для того чтобы линейный оператор A отображал непрерывно банахово пространство B в аналитическое пространство \mathfrak{A}_{r_0} (соответственно $\bar{\mathfrak{A}}_{r_0}$), необходимо и достаточно, чтобы функционалы Φ_n ($n = 0, 1, \dots$) над B , определенные соотношением $\Phi_n(x) = \frac{1}{n!} \left[\frac{d^n (Ax)}{dz^n} \right]_{z=0}$ ($x \in B$; $n = 0, 1, \dots$) были ограниченными функционалами с нормами, удовлетворяющими условию

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\|\Phi_n\|} \leq r_0^{-1} \quad (\text{соответственно } \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\|\Phi_n\|} \leq r_0^{-1}).$$

При доказательстве теорем 2 и 3 кроме следствия теоремы 1 мы пользуемся общим видом линейного ограниченного и вполне непрерывного оператора из B в l_1 и из l_1 в B , полученным И. М. Гельфандом

* y_n принадлежит пространству, содержащему область значений оператора A .

в (7). Для частного случая $B = l_p$ и для пространств Банаха с базисом, удовлетворяющих ряду дополнительных условий, теоремы 2 и 3 сформулированы в (1).

3. Теорема 4. Если A — линейный замкнутый оператор, отображающий: 1) \mathfrak{U}_{r_0} в \mathfrak{U}_{R_0} , где $R_0 > r_0$, или 2) \mathfrak{U}_{r_0} в \bar{B}_{r_0} или 3) $\bar{\mathfrak{U}}_{r_0}$ в B_{R_0} , где $R_0 > r_0$, то оператор A имеет дискретный спектр в \mathfrak{U}_{r_0} (соответственно в $\bar{\mathfrak{U}}_{r_0}$), т. е. спектр оператора A состоит из собственных значений конечной кратности, не имеющих кроме нуля других предельных точек.

Доказательство. В случае 1) заключаем, что A линейно непрерывно отображает \mathfrak{U}_{r_0} в \mathfrak{U}_{R_0} и поэтому линейно ограниченно отображает B_r в $B_{R(r)}$ для $r \in [r_0 - \eta, r_0]$ и $R(r) < R_0$ с $\lim_{r \rightarrow r_0 - 0} R(r) = R_0$, где $R(r)$

можно считать неубывающей и $R(r) > r_0$ на $[r_0 - \eta, r_0]$. Тогда A является линейным вполне непрерывным оператором из B_r в $B_{R_1(r)}$, где $r_0 < R_1(r) < R(r)$ ($r \in [r_0 - \eta, r_0]$), и тем более из B_r в B_r для тех же. Следовательно, спектр A в B_r дискретный. Для всех λ , кроме собственных значений (они одни и те же для всех B_r), $(A - \lambda I)^{-1}$ взаимно-однозначно и непрерывно отображает B_r на B_r и потому и \mathfrak{U}_{r_0} на \mathfrak{U}_{r_0} . Аналогичными рассуждениями доказываются случаи 2) и 3).

Переходя к реализации B_r , мы отчасти получили связь между свойством дискретности спектра матрицы, сжимающей аналитическое пространство (см. (2), (3)), со свойством вполне непрерывности операторов в банаховых пространствах.

Теорема 5. Если пространство \mathfrak{U}_R алгебраически содержит банахово пространство B и если топология \mathfrak{U}_R мажорируется топологией B , то линейный замкнутый оператор A , отображающий \mathfrak{U}_R в B , имеет в \mathfrak{U}_R дискретный спектр.

Из теоремы 5 следует, например, дискретность спектра матрицы, отображающей аналитическое пространство \mathfrak{U}_1 в B , состоящее из всех

$f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n$, для которых $\|f\| = \sup_n |a_n| < \infty$. Этот факт был отмечен на

двух примерах в (2). Можно по-разному видоизменить пространство B . При приложении теорем 4 и 5 полезно отметить, что линейный матричный оператор, отображающий банахово пространство B с базисом в банахово пространство \tilde{B} с базисом всегда замкнут и потому (10) ограничен.

Исходя из соображений, аналогичных изложенным выше, можно получить различные конкретные условия дискретности спектра матриц, преобразующих аналитическое пространство. Так например, имеет место:

Теорема 6. Пусть матрица $[a_{ik}]$ ($i, k = 0, 1, \dots$) обладает свойствами: 1) $|a_{ik}| \leq C_q^k$ для $k > \varphi(i) \geq i$, где $C > 0$, $0 < q < 1$, $\varphi(i)$ — неубывающая функция от i ; 2) $\lim_{k \rightarrow \infty} [\psi(k) - k] \neq -\infty$, где $\psi(k) = i$ равно-

сильно $k = \varphi(i)$, и 3) $\lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{i \geq \psi(k)} |a_{ik}| = 0$. Тогда оператор A , соответствующий матрице $[a_{ik}]$, в базисе $\{z^n\}_0^\infty$ отображает \mathfrak{U}_1 в себя и имеет дискретный спектр.

Доказательство. Для $q < r < 1$ имеем

$$\begin{aligned} \sup_{k > N} \sum_{i=0}^{\infty} |a_{ik}| \frac{r^i}{r^k} &\leq \sup_{k > N} \left\{ \sum_{i < \psi(k)} |a_{ik}| r^{i-k} + \sum_{i \geq \psi(k)} |a_{ik}| r^{i-k} \right\} \leq \\ &\leq \sup_{k > N} \left\{ C \left(\frac{q}{r} \right)^k \frac{1}{1-r} + r^{\psi(k)-k} \sum_{i \geq \psi(k)} |a_{ik}| \right\} \rightarrow 0 \text{ при } N \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Следовательно, оператор A вполне непрерывно отображает B_r в B_r при $q < r < 1$, отображает поэтому \mathfrak{U}_1 в себя и имеет в \mathfrak{U}_1 дискретный спектр.

Замечание. Условия теоремы, очевидно, выполнены, если $\varphi(i) = i$
 $|a_{ik}| \leq c_i$ ($k = 0, 1, \dots$) с $\sum_{i=0}^{\infty} c_i < \infty$. Этот результат другим путем
 показан Н. Н. Рожанской⁽⁵⁾ при излишнем добавочном условии
 $|a_{ik}| \leq c'_k$ ($i = 0, 1, \dots$) с $\sum_{k=0}^{\infty} c'_k < \infty$.

Общность данной схемы позволяет сформулировать изложенные результаты для пространств аналитических функций, заданных в областях другой формы, и для аналитических пространств функций многих переменных.

Черновицкий государственный
 университет

Поступило
 19 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Г. Хапланов, ДАН, 80, № 1 (1951). ² М. Г. Хапланов, Уч. зап. оостовск. гос. унив., 82, в. 4 (1955). ³ М. Г. Хапланов, ДАН, 90, № 6 (1953).
 Г. С. Литвинчук, М. Г. Хапланов, Усп. матем. наук, 12, в. 4 (76) (1957).
 Н. Н. Рожанская, ДАН, 92, № 1 (1953). ⁶ G. Köthe, O. Töplitz, J. reine u. angew. Math., 171, 193 (1934). ⁷ И. М. Гельфанд, Матем. сборн., 4 (40), 2 (1938). ⁸ Ж. Себастьян-и-Сильва, Математика, 1 (1957). ⁹ К. М. Фишан, ДАН, 122, № 1 (1958). ¹⁰ С. С. Банах, Курс функционального анализа, 1948.

Ю. И. ЯНОВ и А. А. МУЧНИК

О СУЩЕСТВОВАНИИ k -ЗНАЧНЫХ ЗАМКНУТЫХ КЛАССОВ,
НЕ ИМЕЮЩИХ КОНЕЧНОГО БАЗИСА

(Представлено академиком М. В. Келдышем 9 III 1959)

Следуя ⁽¹⁾, обозначим через P_k класс всех функций $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определенных на наборах элементов множества $\{0, 1, \dots, k-1\}$ и принимающих значения из того же множества (это определение мы распространим и для $k = \aleph_0$, причем в этом случае в качестве соответствующего множества возьмем натуральный ряд). Множество функций $A \subset P_k$ называется k -значным замкнутым классом, если оно замкнуто относительно суперпозиций. Подмножество B функций замкнутого класса A называется базисом класса A , если: 1) любая функция f из A может быть представлена в виде суперпозиции функций из B и 2) никакая функция g из B не представима в виде суперпозиции остальных функций из B . Ясно, что если замкнутый класс имеет конечный базис, то всякий его базис конечен. Наличие конечного базиса у замкнутого класса означает известную простоту класса и сводит его задание к заданию конечного множества функций. Кроме того, задача алгебраической аксиоматизации замкнутых классов ⁽²⁾ имеет смысл только для классов с конечными базисами.

Возникают вопросы:

1. Всякий ли k -значный замкнутый класс имеет конечный базис?
2. Всякий ли k -значный замкнутый класс имеет базис?
3. Существуют ли k -значные замкнутые классы с бесконечным базисом?

Для $k = 2$ эти вопросы были решены Постом ⁽³⁾, который описал все замкнутые классы из P_2 и показал, что всякий двужначный замкнутый класс имеет конечный базис и что P_2 содержит только счетное число замкнутых классов. Это означает, в частности, что в P_2 не существует замкнутого класса, являющегося пределом (в теоретико-множественном смысле) монотонно возрастающей последовательности замкнутых классов. Для случая $k > 2$ поставленные вопросы оставались открытыми.

Эти вопросы являются частью общей задачи: в чем принципиальное различие между P_2 и P_k ($k > 2$) и в какой мере необходимо специальное изучение многозначных логик? В ⁽³⁾ Пост отметил, что любую задачу из P_k можно свести к решению задачи в P_2 , и тем самым ставилась под сомнение необходимость изучения k -значных логик ($k > 2$). Однако с появлением работ ^(4, 5) стало ясно, что между P_2 и P_k ($k > 2$) есть принципиальное различие. Тем не менее относительно поставленных выше вопросов была выдвинута гипотеза (⁽¹⁾, стр. 77), что они решаются для конечных $k \geq 3$ так же, как и для $k = 2$, т. е. что любой конечнозначный замкнутый класс имеет конечный базис. Для случая же $k = \aleph_0$ С. В. Яблонским ⁽⁶⁾ было получено отрицательное решение вопросов 1 и 2 и положительное решение вопроса 3. В настоящей работе получены аналогичные ответы для любого конечного $k \geq 3$, а именно построены: пример трехзначного замкнутого класса, не имеющего базиса, и два примера трехзначных замкнутых классов с бесконечным базисом. Поскольку для всякого замкнутого класса легко построить изоморфный ему

класс большей значности, то это дает решение вопросов 1—3 для любого $k \geq 3$.

Теорема 1*. Для всякого $k \geq 3$ существует k -значный замкнутый класс, не имеющий базиса.

Доказательство. Рассмотрим множество функций $A = \{f_n(x_1, \dots, x_n) \mid n = 0, 1, 2, \dots\}$ из P_3 , где

$$f_0 = 0, \quad f_i(x_1, x_2, \dots, x_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_1 = x_2 = \dots = x_i = 2, \\ 0 & \text{в остальных случаях } (i = 1, 2, \dots). \end{cases}$$

Обозначим через A_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) множество функций $\{f_0, f_1, \dots, f_n\}$. Ясно, что любая суперпозиция функций f_0, f_1, \dots, f_n есть функция f_m , где $m \leq n$, а потому A и любое A_n суть замкнутые классы, причем $A_0 \subset A_1 \subset \dots \subset A_n \subset \dots \subset A$. А так как каждая функция f_n путем отождествления переменных порождает любую функцию f_m , где $1 \leq m \leq n$, то никакое множество функций из A не может быть базисом A .

Следствие. Для всякого $k \geq 3$ существуют k -значные замкнутые классы, являющиеся пределами монотонно возрастающих последовательностей замкнутых классов.

Действительно, в предыдущем примере $A = \lim_{n \rightarrow \infty} A_n$.

Теорема 2. Для всякого $k \geq 3$ существует k -значный замкнутый класс с бесконечным базисом.

Доказательство.** Рассмотрим для $n = 2, 3, \dots$ функции

$$g_n(x_1, x_2, \dots, x_n) =$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{если } x_1 = \dots = x_{i-1} = x_{i+1} = \dots = x_n = 2, \quad x_i = 1, \quad 2 \quad (i = 1, 2, \dots, n), \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Покажем, что множество функций $\{g_n\}$ ($n = 2, 3, \dots$) является базисом некоторого замкнутого класса $B \subset P_3$. Действительно, пусть $h = g_m(x_{i_1}, \dots, x_{i_m})$, где некоторое x_{i_s} ($1 \leq s \leq m$) встречается по крайней мере на двух аргументных местах функции g_m . Тогда при $x_{i_s} = 1$, $x_i = 2$ ($i \neq i_s$) $h = 0$, что отличает ее от любой из функций $\{g_n\}$.

Рассмотрим теперь произвольную суперпозицию $g_m(y_1, y_2, \dots, y_m)$. Если больше одного y_i отличны от переменных, то функция $g_m(y_1, \dots, y_m)$, очевидно, тождественно равна 0. Пусть теперь только один из y_1, \dots, y_m отличен от переменного, например, пусть $y_1 = g_r(y'_1, \dots, y'_r)$, а $y_i = x^{\infty}$ ($i = 2, 3, \dots, m$). Тогда, так как $g_r = 0$ или 1, то при $x_{p_2} = 1$, $x_j = 2$ ($j \neq p_2$) $g_m(y_1, x_{p_2}, \dots, x_{p_m}) = 0$, что отличает функцию $g_m(y_1, \dots, y_m)$ от любой из функций $\{g_n\}$. Таким образом, никакая функция g_n не может быть получена суперпозициями остальных функций из $\{g_n\}$ ($n = 2, 3, \dots$), что требовалось доказать.

Из этого доказательства непосредственно вытекает, что замкнутый класс B , порожденный множеством функций $\{g_n\}$ ($n = 2, 3, \dots$), содержит континуум замкнутых подклассов, т. е. имеет место:

Теорема 3. Для всякого $k \geq 3$ в P_k содержится континуум различных замкнутых классов.

Это свойство многозначных логик существенно отличает их от двузначной и вносит дополнительные трудности в классификацию замкнутых классов.

* Ю. И. Янов.

** Впервые 4-значный пример, доказывающий эту теорему для $k \geq 4$, был получен А. А. Мучником; снижение значности этого примера до 3 принадлежит О. Б. Лупанову.

Приведем еще один пример трехзначного замкнутого класса с бесконечным базисом, отличающийся тем, что его базисные функции принимают все три значения.

Рассмотрим для $n = 3, 4, \dots$ функции

$$h_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 2, & \text{если один из } x_i \ (i = 1, 2, \dots, n) \\ & \text{равен 1, а остальные равны 2,} \\ 1, & \text{если один из } x_i \ (i = 1, 2, \dots, n) \\ & \text{равен 2, а остальные равны 1,} \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Покажем, что множество функций $\{h_n\}$ ($n = 3, 4, \dots$) является базисом некоторого замкнутого класса $C \subset P_3$.

Ясно, что всякое отождествление аргументов в функции $h_n(x_1, \dots, x_n)$ дает функцию, не принадлежащую $\{h_n\}$ ($n = 3, 4, \dots$). Рассмотрим произвольную суперпозицию Φ функций из $\{h_n\}$. Предположим, что Φ равно функции h_q ($q \geq 3$), причем нас может интересовать только случай, когда формула h_q не входит в Φ . Пусть некоторая функция h_p ($p \neq q$) входит в Φ так, что на ее аргументных местах стоят только переменные x_{i_1}, \dots, x_{i_p} . Обозначим через \mathcal{M} множество переменных $\{x_{i_1}, \dots, x_{i_p}\}$, а через $\overline{\mathcal{M}}$ — множество всех остальных переменных, входящих в Φ и отличных от x_{i_1}, \dots, x_{i_p} . Покажем, что $\overline{\mathcal{M}}$ пусто. Действительно, если $\overline{\mathcal{M}}$ не пусто, т. е. в Φ найдется такое x_i , которое не содержится среди x_{i_1}, \dots, x_{i_p} , то при $x_i = 1$, $x_j = 2$ ($j \neq i$) $h_p(x_{i_1}, \dots, x_{i_p}) = h_p(2, \dots, 2) = 0$ и, следовательно, $\Phi = 0$, что отличает Φ от всех функций h_n (ибо ясно, что Φ существенно зависит от всех своих аргументов). Далее, очевидно, среди x_{i_1}, \dots, x_{i_p} нет повторяющихся переменных, ибо в противном случае либо Φ зависит только от двух переменных, либо h_p , а потому и Φ обращается в 0, когда одно из повторяющихся переменных равно 1, а все остальные переменные равны 2, что опять отличает Φ от всех функций h_n ($n \geq 3$). Тогда, поскольку в $\{h_n\}$ имеется только одна функция, зависящая ровно от p переменных, то Φ либо не равна ни одной из функций h_n , либо равна функции h_p , что противоречит предположению.

Поступило
5 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. В. Яблонский, Тр. Матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР, 51, 5 (1958).
² R. C. L y n d o n, Trans. Am. Math. Soc., 71, № 3 (1951). ³ E. L. P o s t, Ann. Math. Studies, 5, Princeton Univ. Press, 1941. ⁴ R. C. L y n d o n, Proc. Am. Math. Soc., 5, № 1 (1954). ⁵ J. S l u p e s k i, C. R. Seanc. Soc. Sci. Varsovie, Cl. III, 32 (1939).
⁶ С. В. Яблонский, ДАН, 124, № 5 (1959).

Г. И. БАРЕНБЛАТТ

О РАВНОВЕСНЫХ ТРЕЩИНАХ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ

(Представлено академиком Я. Б. Зельдовичем 21 III 1959)

1°. Развитие трещин в хрупких материалах представляется следующим образом. В материале имеется огромное число микротрещин, всевозможным образом ориентированных. При увеличении нагрузки в определенном месте тела достигается напряжение, достаточное для развития имеющейся в этом месте микротрещины некоторого размера. Начало развития микротрещины определяется некоторым условием, причем, поскольку обычно размер микротрещины мал сравнительно с характерным масштабом изменения напряжений, можно представить себе напряженное состояние в окрестности микротрещины, в соответствии со схемой Гриффитса⁽¹⁾, в виде однородного растяжения на бесконечности. Следует отметить, что в последние годы теория Гриффитса была развита и усовершенствована в работах ряда исследователей, см. (2-4).) В ходе развития трещины ее размер увеличивается и, наконец, становится сравнимым с характерным масштабом изменения напряжений. При определенных условиях когда приложенные разрывающие силы не слишком велики и область их приложения мала сравнительно с размерами тела) развитие трещины по достижении ею определенной длины останавливается — трещина становится равновесной.

В предлагаемой заметке рассматриваются равновесные трещины, т. е. трещины, размеры которых не меняются при данной нагрузке. Предполагается (см. рис. 1), что трещину можно разбить на две области: внутреннюю, где противоположные берега трещины отстоят друг от друга на значительном расстоянии и взаимодействие их пренебрежимо мало, и концевую, где противоположные берега трещины близко примыкают друг к другу и действуют друг на друга весьма значительными по величине силами сцепления.

В основе всей схемы лежат три гипотезы:

- 1) Продольные размеры концевой области малы сравнительно с поперечными размерами всей трещины.
- 2) Распределение смещений точек поверхности трещины, в сечении концевой области плоскостью, нормальной контуру трещины, не зависит от действующих нагрузок и для данного материала при данных условиях всегда одинаково. Силы сцепления, притягивающие друг к другу противоположные берега трещины, зависят только от распределения смещений в концевой области, поэтому из сформулированной гипотезы вытекает независимость этих сил от нагрузок.

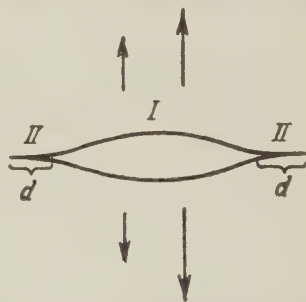


Рис. 1. I — внутренняя область трещины, II — концевая область трещины

3) Противоположные берега трещины на ее краях плавно смыкаются, или, что то же, напряжение на краях трещины конечно. Эта гипотеза была впервые выдвинута С. А. Христиановичем ⁽⁵⁾ при рассмотрении задач образования и развития трещин в горных породах, где единственным сжимающим фактором является горное давление.

Обнаруживается, что размеры равновесной трещины однозначно определяются приложенными нагрузками и новой универсальной характеристикой материала — модулем сцепления K .

2°. Если в бесконечной плоскости имеется прямолинейный разрез вдоль оси x от $x = a$ до $x = b$, по краям которого приложены нормальные усилия $-g(x)$ (в противоположащих точках противоположных берегов трещины приложенные напряжения равны), то, используя метод Н. И. Мусхелишвили ⁽⁶⁾, можно показать, что условия конечности напряжений и, одновременно, плавного смыкания противоположных берегов на краях $x = b$ и $x = a$ имеют, соответственно, вид

$$\int_a^b g(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx = 0, \quad \int_a^b g(x) \sqrt{\frac{b-x}{x-a}} dx = 0. \quad (1)$$

При получении этих соотношений удобно использовать метод Л. И. Седова ⁽⁷⁾, примененный им в теории тонкого крыла.

3°. Рассмотрим бесконечную плоскую пластинку с прямолинейной равновесной трещиной под действием симметричной относительно трещины разрывающей нагрузки. Представим напряженное состояние в пластине с трещиной в виде суммы двух напряженных состояний, одно из которых соответствует пластинке без трещины, растягиваемой данной нагрузкой, а другое соответствует пластинке с трещиной, на поверхности которой приложены некоторые разрывающие усилия и силы сцепления. Для суммарного напряженного состояния внутренняя область трещины свободна от напряжений, а в концевой области действуют силы сцепления, поэтому интенсивность разрывающих трещину сжимающих усилий второго напряженного состояния равна по величине и обратна по знаку интенсивности $p(x)$ растягивающих напряжений на линии симметрии для первого напряженного состояния. Для первого напряженного состояния смещения точек прямой линии симметрии равны нулю, поэтому смещения точек поверхности трещины полностью определяются вторым напряженным состоянием, которое соответствует условиям предыдущего пункта, причем распределение напряжений $g(x)$ таково: $g(x) = p(x) - G(x)$ ($a \leq x \leq a + d$); $g(x) = p(x)$ ($a + d \leq x \leq b - d$); $g(x) = p(x) - G(x)$ ($b - d \leq x \leq b$), где a и b — координаты концов трещины, $G(x)$ — интенсивность сил сцепления, d — ширина концевой области. При заданных нагрузках $p(x)$ находится элементарно и может считаться заданной функцией.

В силу третьей гипотезы должны удовлетворяться условия (1); подставляя выражение $g(x)$ в первое условие (1), получаем

$$\begin{aligned} & \int_a^b g(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx = \\ & = \int_a^b p(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx - \int_{b-d}^b G(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx - \int_a^{a+d} G(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx. \end{aligned} \quad (2)$$

Преобразуя второй интеграл, переходя в нем к новой переменной $s = b - x$ и обозначая $G(x)$ через $F(s)$, получаем в силу малости d сравнительно с $2l = b - a$ (первая гипотеза)

$$I_2 = \int_{b-d}^b G(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx \approx \sqrt{2l} \int_0^d \frac{F(s) ds}{\sqrt{s}}. \quad (3)$$

В силу второй гипотезы интеграл в правой части представляет собой новую универсальную характеристику материала, которую мы назовем модулем сцепления и обозначим через K . Модуль сцепления имеет размерность силы, деленной на длину в степени $3/2$. Таким образом, $I_2 = K \sqrt{2l}$. Аналогично находим

$$I_3 = \int_a^{a+d} G(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx \approx \frac{1}{\sqrt{2l}} \int_0^d F(s) \sqrt{s} ds = \frac{1}{\sqrt{2l}} \int_0^d \frac{F(s)}{\sqrt{s}} s ds < \frac{Kd}{\sqrt{2l}}, \quad (4)$$

так что $I_3/I_2 = O(d/l)$, и, в силу первой гипотезы, интегралом I_3 в равенстве (2) можно пренебречь. Итак, соотношения (1) дают нам два уравнения

$$\int_a^b p(x) \sqrt{\frac{x-a}{b-x}} dx = K \sqrt{b-a}, \quad \int_a^b p(x) \sqrt{\frac{b-x}{x-a}} dx = K \sqrt{b-a}, \quad (5)$$

определяющие координаты концов трещины a и b (напомним, что $p(x)$ можно считать заданной функцией). Если нагрузка $p(x)$ симметрична относительно $x=0$, т. е. $p(x) = p(-x)$, $a = -b = -l$, то условия (5) совпадают и принимают форму соотношения

$$\int_{-l}^l p(x) \sqrt{\frac{l-x}{l+x}} dx = K \sqrt{2l}, \quad (6)$$

определяющего полудлину трещины l .

4°. Аналогично, используя метод Снеддона⁽⁸⁾, можно показать, что соотношение, определяющее радиус осесимметричной трещины R , имеет вид

$$\int_0^R \frac{rp(r) dr}{\sqrt{R^2 - r^2}} = K \sqrt{\frac{R}{2}}, \quad (7)$$

где $p(r)$ — распределение нормального напряжения в плоскости симметрии при заданной осесимметричной и симметричной относительно плоскости трещины нагрузке в сплошном теле без трещины, которое можно считать заданным.

5°. Таким образом, размеры трещины однозначно определяются действующей нагрузкой и обобщенной характеристикой сил сцепления материала — модулем сцепления K . Определив размеры трещины, мы могли бы найти смещения точек поверхности трещины при данных ее размерах без учета сил сцепления. Естественно, что условие плавности смыкания на краях трещины при этом не выполнялось бы. Оказывается, что везде, кроме непосредственной близости кромок трещины, смещения точек поверхности трещины будут близки к определенным таким образом смещениям. Это означает, что силы сцепления существенно влияют только на величину трещины на распределение смещений непосредственно вблизи кромок трещины, но не на распределение смещений в основной части трещины.

Модуль K связан с упругими характеристиками материала и поверхностным натяжением T , фигурирующим в теории Гриффитса⁽¹⁾ (или соответствующим параметром, фигурирующим в модифицированных теориях^(2,3)), отношением $K^2 = \pi ET/(1 - \nu^2)$.

6°. Рассмотрим несколько примеров. Если трещина в бесконечной плоской пластинке образована приложенными к противоположным точкам ее поверхности равными по величине и противоположными по направлению средоточенными силами P , то полудлина этой трещины l определяется соотношением $l = P^2/2K^2$. Если таким же образом создается осесимметричная трещина в бесконечном теле, то ее радиус R определяется соотношением

$R = (P/\sqrt{2\pi K})^{1/2}$. Оба эти соотношения с точностью до постоянного множителя можно получить, используя П-теорему теории размерностей ⁽⁹⁾. Если трещина в бесконечной плоской пластинке образуется равными по величине и противоположными по направлению сосредоточенными силами, точки приложения которых отстоят друг от друга на расстояние $2L$, то полудлина трещины l определяется соотношением

$$\frac{P}{K\sqrt{L}} = u_1\left(\frac{L}{l}\right) = \left(\frac{L}{l}\right)^{-1/2} \left(1 + \frac{L^2}{l^2}\right)^{1/2} \sqrt{2} \left[2 + \frac{L^2}{l^2} (3 + \nu)\right]^{-1}. \quad (8)$$

Если таким же образом создается осесимметричная трещина в бесконечном теле, то ее радиус R определяется соотношением

$$\begin{aligned} \frac{P}{\pi K L^{3/2}} &= u_2\left(\frac{L}{R}\right) = \\ &= \left(\frac{L}{R}\right)^{-3/2} \left(1 + \frac{L^2}{R^2}\right)^2 \sqrt{2} \left[1 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{2 - \nu}{1 - \nu} \frac{L^2}{R^2}\right]^{-1}. \end{aligned} \quad (9)$$

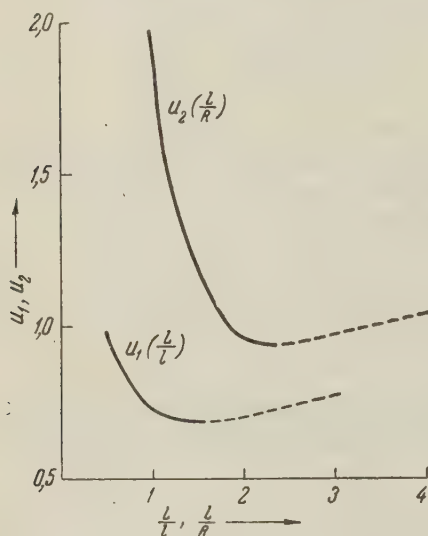


Рис. 2

Графики функций u_1 и u_2 даны на рис. 2. Как видно, в обоих случаях существует некоторое критическое значение силы $P_{\text{крит}}$, так что при $P < P_{\text{крит}}$ равновесной трещины не образуется (уравнения (8) и (9) не имеют решений). При $P = P_{\text{крит}}$ сразу же образуется равновесная трещина конечного размера. При $P > P_{\text{крит}}$ уравнения (8) и (9) имеют два корня; область корней, не имеющих физического смысла, показана пунктиром.

(соответствующие состояния равновесия неустойчивы).

Подробное изложение работы будет опубликовано в журнале «Прикладная математика и механика».

Институт геологии и разработки
горючих ископаемых
Академии наук СССР

Поступило
13 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. A. Griffith, Phil. Trans. Roy. Soc., ser. A, **221**, 180 (1920). ² E. Orowan, Welding J., Res. Suppl., March (1955). ³ G. R. Irwin, J. Appl. Mech., **24**, № 3 (1957). ⁴ Н. Ф. Вуескнер, Trans. ASME, **80**, № 6 (1958). ⁵ Ю. П. Желтов, С. А. Христианович, Изв. АН СССР, ОТН, № 5 (1955). ⁶ Н. И. Мухелишвили, Некоторые основные задачи математической теории упругости, Изд. АН СССР, 1954. ⁷ Л. И. Седов, Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики, 1950. ⁸ И. Снеддон, Преобразования Фурье, ИЛ, 1955. ⁹ Л. И. Седов, Методы подобия и размерности в механике, М.—Л., 1957.

Н. Н. МОИСЕЕВ

К ТЕОРИИ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ТЕЛА С ЖИДКОСТЬЮ

(Представлено академиком А. А. Дородницыным 25 III 1959)

1. Разнообразные технические задачи требуют исследования колебаний упругого тела, внутри которого находится жидкость; жидкость может при этом частично или целиком заполнять полость. Рассмотрим эту задачу в простейшей постановке, когда упругое тело может быть схематизировано как балка с прямолинейной осью жесткости, для которой справедлива гипотеза плоских сечений.

Свяжем с осью жесткости систему координат $Oxyz$, а со свободной поверхностью тяжелой идеальной и несжимаемой жидкости систему $O_1x_1y_1z_1$ (см. рис. 1).

Смоченную поверхность полости обозначим Σ , свободную поверхность в состоянии покоя S . Область, ограниченную поверхностью $\Sigma + S$, обозначим τ .

Рассмотрим бесконечно малые крутильные и изгибные в плоскости yOz колебания балки.

Движение жидкости, которое вызывается этими колебаниями, предположим потенциальным, скорости и амплитуды волн — бесконечно малыми. Через $Z(y, t)$ обозначим прогиб, через $\theta(y, t)$ — угол закручивания, через $\zeta(x_1, y_1, t)$ — аппикату свободной поверхности.

Введем операторы H_1 и H_2 :

$$H_1 u(Q) = \int_{\Sigma} H(P, Q) u(Q) dS_Q; \quad H_2 u(Q) = \int_S H(P, Q) u(Q) dS_Q,$$

где $H(P, Q)$ — функция Грина задачи Неймана для области τ .

Колебание жидкости происходит в поле силы тяжести. Внешние силы, действующие на балку, предполагаются консервативными, зависящими линейно от Z и θ .

2. Проще всего составить уравнения движения такой системы, используя принцип Гамильтона

$$\delta \int_0^t (T - U) dt = 0. \quad (1)$$

Кинетическая и потенциальная энергии системы будут

$$T = \frac{1}{2} \int_0^l \{A_{11} Z_t^2 + 2A_{12} Z_t \theta_t + A_{22} \theta_t^2\} dy + \frac{\rho}{2} \int_{\tau} \{\nabla H_1 \gamma Z_t + \nabla H_1 \gamma^* \theta_t + \nabla H_2 \zeta_t\}^2 d\tau, \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{2} \int_0^l \{C_1 (Z_{yy})^2 + C_2 \theta_y^2 + B_1 Z^2 + B_2 \theta^2\} dy + \frac{\rho g}{2} \int_S \zeta^2 ds.$$

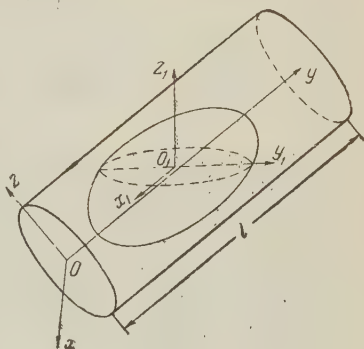


Рис. 1

Здесь $A_{11}(y)$ — погонная масса; $A_{22}(y)$ — погонный момент инерции; $A_{12}(y)$ определяется взаимным расположением оси жесткости и оси центров тяжести сечений; $\gamma = \cos(nz)$; $\gamma^* = z \cos(nx) - x \cos(nz)$; $C_1(y)$, $C_2(y)$ — жесткости на изгиб и кручение; $B_1(y)$ и $B_2(y)$ — функции, характеризующие внешние силы; ρ — плотность жидкости; g — ускорение силы тяжести.

Используя определения операторов H_1 и H_2 , уравнение (1) можно привести к следующей системе интегро-дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} A_{11}Z_{tt} + \rho \int_{s_y} \gamma H_1 \gamma Z_{tt} ds + \rho \int_{s_y} \gamma H_1 \gamma^* \theta_{tt} ds + \rho \int_{s_y} \gamma H_2 \zeta_{tt} ds + \\ + A_{12} \theta_{tt} + (C_1 Z_{yy})_{yy} + B_1 Z = 0, \\ A_{12} Z_{tt} + \rho \int_{s_y} \gamma^* H_1 \gamma Z_{tt} ds + A_{22} \theta_{tt} + \rho \int_{s_y} \gamma^* H_1 \gamma^* \theta_{tt} ds + \\ + \rho \int_{s_y} \gamma^* H_2 \zeta_{tt} ds - (C_2 \theta_y)_y + B_2 \theta = 0, \\ \rho H_1 \gamma Z_{tt} + \rho H_1 \gamma^* \theta_{tt} + \rho H_2 \zeta_{tt} + \rho g \zeta = 0; \end{aligned} \quad (3)$$

s_y — контур сечения поверхности Σ плоскостью, перпендикулярной оси Oy .

Н. Е. Жуковский показал ⁽¹⁾, что твердое тело с жидкостью внутри, если последняя полностью заполняет полость и движение жидкости потенциально, в динамическом отношении эквивалентно некоторому другому твердому телу, с массой, равной массе системы тело + жидкость, и с некоторым вполне определенным тензором инерции. Система (3) показывает, что в рассматриваемом случае такой аналогии нет. Даже если $\zeta \equiv 0$ (свободная поверхность отсутствует), то ускорения в данном сечении определяются не только силами, действующими в данном сечении, но и ускорениями в других сечениях. Таким образом, в общем случае не существует эквивалентной балки. Одновременно это означает, что гипотеза плоских сечений не может быть использована для описания движения жидкости.

3. Введем следующие обозначения.

E_1 — пространство функций $u_1(y)$, $y \in [0, l]$, с суммируемым квадратом на $[0, l]$ и обладающих четвертыми обобщенными производными со скалярным произведением

$$(u_1, v_1)_1 = \int_0^l u_1 v_1 dy. \quad (4)$$

E_2 — пространство функций $u_2(y)$, $y \in [0, l]$, с суммируемым квадратом на $[0, l]$, обладающих вторыми обобщенными производными. Скалярное произведение в E_2 имеет вид (4).

E_3 — гильбертово пространство функций $u_3(P)$, $P \in S$, с суммируемым квадратом на S и со скалярным произведением вида (4).

$E = E_1 + E_2 + E_3$ — прямая сумма пространств F_i со скалярным произведением

$$(x_1, x_2) = (u_1, v_1)_1 + (u_2, v_2)_2 + (u_3, v_3)_3$$

здесь x — вектор с компонентами u_1, u_2, u_3 .

Введем операторы L_{ij} и M_{ij} , действующие из E_j в E_i :

$$L_{11}u_1 = A_{11}u_1 + \rho \int_{s_y} \gamma H_1 \gamma u_1 ds, \quad L_{12}u_2 = A_{12}u_2 + \rho \int_{s_y} \gamma H_1 \gamma^* u_2 ds,$$

$$L_{13}u_3 = \rho \int_{s_y} \gamma H_2 u_3 ds, \quad L_{21}u_1 = A_{12}u_1 + \rho \int_{s_y} \gamma^* H_1 \gamma u_1 ds,$$

$$L_{22}u_2 = A_{22}u_2 + \rho \int_{s_y} \gamma^* H_1 \gamma^* u_2 ds, \quad L_{23}u_3 = \rho \int_{s_y} \gamma^* H_2 u_3 ds,$$

$$L_{31}u_1 = \rho \dot{H}_1 \gamma u_1, \quad L_{32}u_2 = \rho H_1 \gamma^* u_2, \quad L_{33}u_3 = \rho H_2 u_3,$$

$$M_{11}u_1 = (C_1 u_{1y} y)_{yy} + B_1 u_1, \quad M_{22}u_2 = -(C_2 u_{2y} y)_y, \quad M_{33}u_3 = \rho g u_3,$$

$$L = \begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{12} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{vmatrix}, \quad M = \begin{vmatrix} M_{11} \\ M_{22} \\ M_{33} \end{vmatrix}.$$

Функции u_i должны удовлетворять определенным граничным условиям. Мы их не будем детализировать, они определяются характером закрепления балки. Будем их считать такими, чтобы они обеспечивали самосопряженность операторов L_{ii} и M_{ii} .

В этих обозначениях система (3) примет вид:

$$Lx'' + Mx = 0. \quad (5)$$

Оператор L — самосопряженный; в этом можно убедиться прямой проверкой. Относительно оператора M мы предположим, что он положительно-определенный. Задачу имеет смысл рассматривать только в этом случае, так как предположение о положительной определенности физически означает, что внешние силы таковы, что они не приводят к потере устойчивости. Это предположение накладывает некоторые дополнительные ограничения на характер граничных условий.

Операторы L и M^{-1} не являются вполне непрерывными, тем не менее справедлива следующая лемма:

Лемма 1. Оператор $C = M^{-1/2} L M^{-1/2}$ вполне непрерывен.

4. Лемма 1 позволяет решить вопрос о существовании собственных колебаний и частот стандартным способом. Положим

$$x = q e^{i\omega t}. \quad (6)$$

Тогда уравнение (5) примет вид:

$$(M - \omega L)q = 0. \quad (7)$$

Существует ограниченный оператор M^{-1} , поэтому уравнение (7) можно переписать в виде

$$Cp = \frac{1}{\omega^2} p,$$

где $p = M^{1/2} q$.

На основании леммы C — вполне непрерывный симметричный оператор. Отсюда следует существование главных колебаний и дискретность спектра. Полнота системы главных колебаний следует из того факта, что функционал (Lx, x) является кинетической энергией системы и обращается в нуль лишь когда $x \equiv 0$.

Таким образом, имеет силу следующий результат:

Теорема. Если потенциальная энергия U системы балка + жидкость — положительно-определенный функционал, то в E существует полная система собственных функций (6), причем $\omega_n \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \infty$.

Эта теорема содержит в себе как частный случай аналог теоремы Лагранжа о минимуме потенциальной энергии.

5. Доказанное утверждение позволяет использовать для вычисления собственных функций и частот метод Ритца. Делая в (1) замену (6): $Z = \cos \omega t u_1$, $\theta = \cos \omega t u_2$, $\zeta = \cos \omega t u_3$, мы приходим к уравнению

$$\delta \frac{1}{2} \left\{ \omega^2 \left(\int_0^l \{A_{11}u_1^2 + 2A_{12}u_1u_2 + A_{22}u_2^2\} dy + \right. \right. \\ \left. \left. + \rho \int_{\tau} (\nabla H_1 \gamma u_1 + \nabla H_1 \gamma^* u_2 + \nabla H_2 u_3)^2 d\tau \right) - \right. \\ \left. - \int_0^l [C_1 (u_{1yy})^2 + C_2 u_{2y}^2 + B_1 u_1^2 + B_2 u_2^2] dy + \rho g \int_S u_3^2 ds \right\} = 0. \quad (8)$$

Выбирая систему функций $\{x_n\}$, полную в E , и полагая $q = \sum \alpha_n x_n$, мы приходим к системе алгебраических уравнений с симметричной матрицей.

Вычислительный центр
Академии наук СССР

Поступило
16 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Е. Жуковский, Собр. соч., 2, М., 1949.

Г. Я. ГАЛИН

К ТЕОРИИ УДАРНЫХ ВОЛН

(Представлено академиком Л. И. Седовым 25 III 1959)

Если при теоретическом рассмотрении структуры и ширины ударного фронта учесть вязкость и теплопроводность, то соответствующие уравнения движения после однократной интеграции можно представить в виде см., например, (1))

$$\frac{v}{V} = j = \text{const}, \quad \mu j \frac{dV}{dx} = p + Vj^2 - a, \quad \lambda \frac{dT}{dx} = jF, \quad (1)$$

где $F = E - V^2j^2/2 + aV - b$; v — скорость частиц в системе координат, которой сама ударная волна покоится, ось x этой системы направлена по потоку; $\mu = \frac{4}{3}\eta + \zeta > 0$; η, ζ — первый и второй коэффициенты вязкости; λ — коэффициент теплопроводности ($\lambda > 0$); j — плотность потока газа (жидкости); E — внутренняя энергия. Постоянные $a = p_0 + j^2V_0 = p_1 + j^2V_1$, $b = E_0 + p_0V_0 + j^2V_0^2/2 = E_1 + p_1V_1 + j^2V_1^2/2$ определены из условия, что на границах течения градиенты давления p , удельного объема V , абсолютной температуры T , скорости v исчезают, а значения этих характеристик движения совпадают с их значениями соответственно перед ударной волной и за ней (величины, относящиеся к этим состояниям, отмечены индексами 0 и 1). Ударные волны рассматриваются как предел таких непрерывных течений.

Ранее были построены и изучены решения системы (1) в некоторых частных случаях (соответствующие ссылки см. в (2, 3)). В настоящей работе исследуется вопрос о существовании непрерывного решения системы (1) для сред с произвольным уравнением состояния и следствия, вытекающие из рассмотрения ударных переходов как предела этих непрерывных решений.

Исключая в (1) из второго и третьего уравнений x и считая E, T, S известными функциями V и p , получим:

$$\frac{dp}{dV} = - \frac{\kappa j^2 F(V, p) + TS_V(a - j^2V - p)}{\gamma TS_p(a - j^2V - p)}, \quad (2)$$

где $\gamma = c_p/c_v$ — отношение удельных теплоемкостей; $\kappa = \mu c_p/\lambda$ — число Прандтля. Относительно частных производных от энтропии $(\partial S/\partial V)_p = S_V$, $(\partial S/\partial p) = S_p$ предположим, что они в исследуемой области сохраняют знак.

Особыми точками уравнений (2) на $p-V$ -диаграмме являются точки пересечения ударной адиабаты с центром (V_0, p_0) и луча α , проходящего через точки (V_0, p_0) , (V_1, p_1) . Характер особой точки зависит от знака суммы $\Delta = j^2 + (\partial p/\partial V)_S$ в особой точке. В особых точках имеется два исключительных направления: k_1, k_2 .

Когда $(\partial^2 p/\partial V^2)_S > 0$ (при этом всегда $\Delta \neq 0$), то, как показал Вейль (4), существуют только две особые точки: (V_0, p_0) , (V_1, p_1) ; при $\Delta > 0$

особая точка — узел, при $\Delta < 0$ — седло (рис. 1). Если производная $(\partial^2 p / \partial V^2)_S$ меняет знак, то число особых точек может быть больше двух и, кроме указанных выше, имеют место случаи, когда в особой точке $\Delta = 0$. Качественная картина поля интегральных кривых в окрестности такой особой точки зависит от порядка и знака первой отличной от нуля производной $(\partial^n p / \partial V^n)_S$ ($n > 1$). Когда n нечетно и $(\partial^n p / \partial V^n)_S > 0$ ($(\partial^n p / \partial V^n)_S < 0$), особая точка — узел (седло). В отличие от случаев, когда $\Delta \neq 0$, здесь $k_1 = -j^2 = (\partial p / \partial V)_S$, $k_2 = j^2(\kappa - 1)/\gamma$. Случаи, отвечающие четному n , изображены на рис. 1 III. Направление, в котором координата x возрастает вдоль интегральных кривых, на рисунках указано стрелками.

Вдоль кривой $F(V, p) = 0$ направление интегральных кривых совпадает с направлением изотерм. Эта кривая проходит через особые точки,

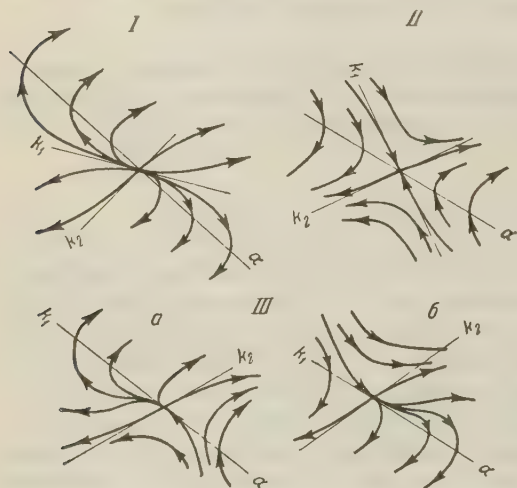


Рис. 1. I — при $\Delta > 0$, $-j^2 < k_1 < (\partial p / \partial V)_S$, $(\partial p / \partial V)_T < k_2 \leq |M| < \infty$; II — при $\Delta < 0$, $(\partial p / \partial V)_S < k_1 < -j^2$, $-j^2 < k_2 \leq |M| < \infty$; III — при $\Delta = 0$, n четное: а — при $(\partial^n p / \partial V^n)_S > 0$, б — при $(\partial^n p / \partial V^n)_S < 0$

где совпадает по направлению с обратимой адиабатой, и относительно луча α расположена с той же стороны, что и ударные адиабаты с центром в особых точках. В области G , которая заключена между лучом α и кривой $F(V, p) = 0$, разность $(dp/dV)_F - (\partial p / \partial V)_T$ отрицательна, вне ее — положительна. Индексом I будем отмечать производные, взятые вдоль интегральных кривых, а индексом F — вдоль кривой $F(V, p) = 0$.

$(dp/dV)_I - (dp/dV)_F = (c_v / TS_p)(dT/dV)_F$ положительна на участках кривой $F(V, p) = 0$, при $S_p > 0$, расположенных ниже луча α , а при $S_p < 0$ выше этого луча. При $S_p > 0$ на участках кривой $F(V, p) = 0$, расположенных выше луча α , а при $S_p < 0$ ниже луча α , эта

разность может быть положительной и может менять знак. В последнем случае на кривой $F(V, p) = 0$ между особыми точками, ограничивающими рассматриваемый отрезок кривой, имеется абсолютный максимум температуры T^* и абсолютный минимум T^{**} . Заметим что всегда существует некоторая окрестность особой точки, где эта разность положительна.

Производная $(dV/dp)_I$ обращается в нуль только на луче α вне особых точек; производная $(d^2V/dp^2)_I$ положительна на участках луча α , где кривая $F(V, p) = 0$ расположена ниже луча α , и отрицательна, где кривая расположена выше луча α .

Очевидно, что когда точка (V_1, p_1) узловая или типа а и $V_0 < V_1$, или типа б (см. рис. 1 III) и $V_0 > V_1$, то уравнение (2) заведомо не имеет решения, соответствующего ударному переходу $(V_0, p_0) \rightarrow (V_1, p_1)$. Отметим, что в этих случаях либо $S_0 > S_1$, либо $S_0 \leq S_1$, и ударная адиабата с центром (V_0, p_0) между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) перегибается около луча α .

Покажем, что всегда справедливо следующее предложение:

Теорема 1. Если $S_0 > S_1$, то система (1) не имеет непрерывного решения, отвечающего ударному переходу $(V_0, p_0) \rightarrow (V_1, p_1)$.

В силу сказанного выше остается провести доказательство для случаев, когда точка (V_1, p_1) седловая или типа а и $V_0 > V_1$, или типа б и $V_0 < V_1$. Так как $T(dS/dV)_F = p + j^2V - a$ и, по предположению,

$p_0 > S_1$, то на луче α между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) должна быть по крайней мере еще одна особая точка, причем хотя бы одна из них узловая. Замечая, что вне области G разность $(dp/dV)_I - (\partial p/\partial V)_S$ положительна, легко усмотреть, что «исток» интегральной кривой, по которой мы только и можем войти в точку (V_1, p_1) , исходя из точки (V_0, p_0) , при $p > 0$, $V_0 > V_1$ и при $S_p < 0$, $V_0 < V_1$ будет ближайшая к (V_1, p_1) со стороны (V_0, p_0) узловая точка, а при $S_p > 0$, $V_0 < V_1$ и при $S_p < 0$, $V_0 > V_1$, во всяком случае, одна из промежуточных между (V_0, p_0) , (V_1, p_1) узловых точек, что и доказывает теорему 1.

Предположим, что, когда $S_1 > S_0$ и производная $(dT/dV)_F$ между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) меняет знак, наибольшее из T^* не превосходит $T_{\alpha_{\max}}$. Это ограничение в некоторых случаях можно ослабить или вообще снять, (а чем мы здесь останавливаться не будем). Тогда приведенных выше выводов о поле интегральных кривых достаточно, чтобы доказать следующие утверждения:

Теорема 2. Если ударная адиабата с центром (V_0, p_0) между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) : 1) лежит слева от луча α при движении от (V_0, p_0) к (V_1, p_1) или 2) совпадает с лучом α , то существует единственное непрерывное решение системы (1), отвечающее ударному переходу $(V_0, p_0) \rightarrow (V_1, p_1)$, при этом в первом случае всегда $S_1 > S_0$, во втором $S_1 = S_0$.

Случай, когда существует решение и ударная адиабата между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) касается луча α , можно трактовать как предельный, когда две ударные волны сливаются.

Теорема 3. Если между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) ударная адиабата с центром (V_0, p_0) перегибается около луча α , то система (1) не имеет непрерывного решения, проходящего через точки (V_0, p_0) , (V_1, p_1) .

Таким образом, с точки зрения механизма внутреннего процесса ударные переходы, при которых условие неубывания энтропии не нарушается, но ударная адиабата между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) перегибается около луча α , невозможны в такой же мере, как и ударные переходы, при которых энтропия убывает.

Когда решение существует, можно установить качественную картину изменения характеристик движения в области, занятой течением. Отметим, что при $S_p > 0$, $V_0 > V_1$ и при $S_p < 0$, $V_0 < V_1$ внутри области, занятой течением, энтропия достигает абсолютного максимума $S_{\max} > S_1$, а температура монотонно растет. При $S_p > 0$, $V_0 < V_1$ и при $S_p < 0$, $V_0 > V_1$ энтропия имеет абсолютный минимум $S_{\min} < S_0$; температура монотонно убывает, если рассматриваемая интегральная кривая лежит в области G , и обязательно имеет внутри области, занятой течением, максимум и минимум, если часть интегральной кривой лежит вне области G , как это, например, имеет место, когда между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) производная $(dT/dV)_F$ меняет знак и $T^{**} \leq T_1$.

Предложения 1—3 можно резюмировать в следующей теореме, которой мы также дадим геометрическую трактовку:

Теорема 4. Возможны только те ударные переходы, при которых ударная адиабата с центром (V_0, p_0) между точками (V_0, p_0) , (V_1, p_1) совпадает с лучом α или лежит слева от него при движении от точки (V_0, p_0) к точке (V_1, p_1) .

Из полученных результатов вытекает, в частности, что при ударных переходах между скоростью звука c и скоростью частиц перед и за ударной волной должно выполняться соотношение $v_0 \geq c_0$, $v_1 \leq c_1$, а также известный ранее из исследований устойчивости ударных волн результат, что ударные переходы, при которых имеет место хотя бы одно из неравенств $v_0 < c_0$, $v_1 > c_1$, не реализуются⁽⁴⁾. Последнее обстоятельство тесно связано с вопросом об установлении единственности решения различных задач⁽⁵⁾. Подчеркнем, что в этом смысле полученные выше результаты дают больше, чем исследование устойчивости ударных волн,

поскольку последнее не исключает те случаи, когда при $v_0 \geq c_0$, $v_1 \leq c_1$ ударная адиабата перегибается около луча α .

Можно еще поставить вопрос об устойчивости рассмотренных выше течений, т. е. вопрос о «внутренней» устойчивости ударных волн, что, возможно, дало бы дополнительные сведения об их свойствах.

В твердых телах природа диссипативных сил сложнее, чем в жидкостях и газах. Потери могут быть вызваны несколькими различными механизмами,

которые включают два рода диссипативных процессов, являющихся аналогами вязких потерь и потерь, связанных с теплопроводностью в жидкостях и газах.

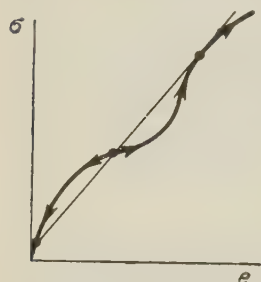


Рис. 2

Если учесть в уравнениях дополнительные потоки импульса и энергии, обусловленные эффектами вязкости, с помощью «диссипативного» тензора, как это предложено Л. Д. Ландау (⁴), и дополнительный поток энергии, обусловленный теплопроводностью, обычным образом, то полученные выше результаты можно распространить и на ударные волны в твердых телах, когда условия на ударной волне по своей структуре подобны соответствующим условиям для газа, как это, например,

имеет место при движениях с плоскими волнами.

В частности, для сред, у которых напряжение σ есть функция только деформации ϵ , поле интегральных кривых на диаграмме $\sigma - \epsilon$ вырождается в кривую $\sigma = \sigma(\epsilon)$; поэтому справедливость аналогичных теорем для таких сред очевидна непосредственно (рис. 2).

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
23 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Weyl, Comm. on Pure and Appl. Math., 2, № 2—3 (1949). ² Я. Б. Зельдович, Теория ударных волн и введение в газодинамику, 1946. ³ Современное состояние аэродинамики больших скоростей, 1, под общ. ред. Л. Хоуарта, ИЛ, 1955. ⁴ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Механика сплошных сред, 1953. ⁵ Г. Я. Галин, ДАН, 120, № 4 (1958).

Я. М. КОТЛЯР

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ В ЗАМКНУТОЙ ФОРМЕ
ТОЧНЫХ ИНТЕГРАЛОВ УРАВНЕНИЯ РЕЙНОЛЬДСА

(Представлено академиком Л. И. Седовым 25 III 1959)

Из гидродинамической теории смазки известно ^(1, 2), что при медленных установившихся баротропных движениях вязкого газа в узком зазоре между плоскостью Oxy и цилиндрической поверхностью $h = h(x)$ давление газа определяется уравнением Рейнольдса

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^3 \frac{\partial P}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

где функция $P(x, y)$ связана с давлением p через удельный вес γ соотношением $P = \int \gamma(p) dp$. При этом предполагается, что в процессе движения динамическая вязкость изменяется мало ($\mu \approx \text{const}$), что строго выполняется при изотермическом процессе движения, когда температура $T = T_0 = \text{const}$ и, следовательно, $P = p^2/2RT_0$. В случае же, когда смазкой является вязкая несжимаемая жидкость, $P = p$.

Уравнение (1) формально совпадает с уравнением для функции тока плоского безвихревого потока идеального газа, движущегося с дозвуковыми скоростями ⁽³⁾

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(V \bar{K} \frac{\partial \psi}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(V \bar{K} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) = 0 \quad (2)$$

где $K = K(s)$ — функция Чаплыгина; s — некоторая функция модуля скорости; θ — угол, характеризующий направление вектора скорости), поэтому для его интегрирования можно воспользоваться некоторыми приемами, развитыми в теории плоских движений идеального газа.

Как указал Л. И. Седов ⁽³⁾, один из возможных методов решения краевых задач для уравнения (2) состоит в установлении связи между этим уравнением и уравнением более простым (например, уравнением Лапласа), для которого поставленная краевая задача решается в эффективной, в частности в замкнутой, форме. Установление подобной связи возможно лишь при некоторых коэффициентах $K(s)$ уравнения (2), но поскольку выражения для таких коэффициентов содержат произвольные постоянные, в ряде случаев можно добиться известной близости между этими коэффициентами и заданными. В результате точное решение уравнения (2) с аппроксимирующим (теоретическим) коэффициентом $K_7(s)$ можно рассматривать как приближенное решение этого уравнения с заданным коэффициентом $K(s)$.

Г. А. Домбровский ⁽⁴⁾, используя тот факт, что общее решение уравнения (2) при $K = \alpha \text{th}^4 \beta(s - s_0)$, где α, β, s_0 — произвольные постоянные, выражается через произвольную гармоническую функцию, решил в замкнутой форме ряд задач теории плоских движений газа. При этом постоянные α, β, s_0 можно выбирать, например, так, чтобы соответствующая принятой функции Чаплыгина связь между давлением и плотностью была в некотором диапазоне близка к адиабатической.

Ю. В. Руднев ⁽⁵⁾ указал способ построения бесконечной последовательности уравнений типа (2), решения которых выражаются через решение исходного уравнения Лапласа. Однако получающиеся этим способом коэффициенты $K(s)$ имеют вид рациональных дробей, что ограничивает возможности применения этого способа, в частности, в гидродинамической теории смазки.

Для гидродинамической теории смазки особенно интересен случай, когда уравнение Рейнольдса (1) имеет периодический коэффициент ⁽¹⁾

$$h = \delta (1 - \varepsilon \cos x), \quad (3)$$

где δ, ε — постоянные, причем $0 \leq \varepsilon \leq 1$, так как этот случай соответствует наиболее распространенному типу подшипников — цилиндрическому. Отсюда естественно возникает задача отыскания такого близкого (хотя бы при некотором значении ε) к (3) коэффициента уравнения (1), при котором решение этого уравнения свелось бы к решению уравнения Лапласа. Рамки настоящего сообщения не позволяют достаточно полно изложить ход решения этой задачи. Поэтому мы ограничимся приведением лишь окончательного результата, справедливость которого легко проверить непосредственной подстановкой в уравнение (1).

При периодическом коэффициенте уравнения (1)

$$h_T = 2\delta^* \left(1 + 3 \operatorname{ctg}^2 \frac{x}{2}\right)^{-2/3}, \quad (4)$$

где δ^* — произвольная постоянная, общее решение уравнения (1) выражается через произвольную гармоническую функцию Φ следующим образом

$$P = \Phi - \frac{3 \cos \frac{x}{2} \cos x}{2 \sin^3 \frac{x}{2}} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{2 + \cos x}{\sin^3 \frac{x}{2}} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}. \quad (5)$$

На рис. 1 приведен график коэффициента (3) при $\varepsilon = 1$, что соответствует максимальному смещению вала подшипника, и там же приведен график теоретического коэффициента h_T , вычисленного по формуле (4). Сравнение нанесенных кривых и простые физические соображения позволяют предположить, что по поддержанию теоретический подшипник с зазором h_T будет практически мало отличаться от реального с зазором (3) (имеются в виду подшипники с принудительной подачей смазки), и в этом смысле следует признать «близость» коэффициентов h и h_T удовлетворительной.

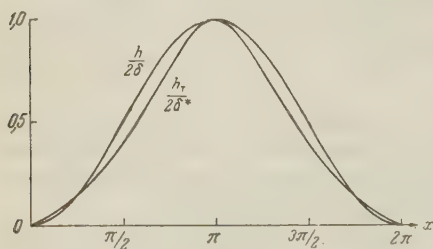


Рис. 1

Полученный теоретический подшипник обладает рядом достоинств, связанных с тем, что для него можно получить в замкнутой форме точные решения краевых задач, которые обычно ставят для уравнения Рейнольдса. Во-первых, наличие точного решения облегчает теоретическое исследование и расчет подшипников; во-вторых, теоретический подшипник (4) может служить эталоном, по которому можно оценивать степень точности различных приближенных решений уравнения Рейнольдса, и, в-третьих, точное решение, полученное для теоретического подшипника, может служить в случае надобности исходным приближением при расчете реального подшипника, например методом малого параметра или каким-либо подходящим методом последовательных приближений.

Приступим к решению основной краевой задачи для теоретического подшипника (4) с принудительной подачей смазки. Задача эта состоит ^(2,6) в отыскании решения уравнения (1), регулярного в прямоугольнике

$x < 2\pi$, $-a < y < a$ (рис. 2), за исключением точки $\zeta_j = x_j + iy_j$, и принимающего на сторонах $y = \pm a$ заданное значение $P = 0$. При этом требование непрерывности решения на двух других сторонах прямоугольника $x = 0$ и $x = 2\pi$ является, как это видно из (5), естественным граничным условием для этих границ.

Условие непрерывности искомого решения на линиях $x = 0$ и $x = 2\pi$, как это следует из (5), будет соблюдено, если подчинить гармоническую функцию Φ условиям

$$\frac{\partial \Phi(0, y)}{\partial x} = \frac{\partial \Phi(2\pi, y)}{\partial x} = 0. \quad (6)$$

Остается найти гармоническую функцию Φ , регулярную в рассматриваемом прямоугольнике за исключением точки ζ_j , где она должна обладать логарифмической особенностью, обращающуюся в нуль на границах $y = \pm a$ и удовлетворяющую условиям (6) на двух других границах $x = 0$ и $x = 2\pi$. Если рассматривать гармоническую функцию Φ как действительную часть некоторой аналитической функции комплексного переменного $\zeta = x + iy$, то построение Φ эквивалентно построению комплексного потенциала $\Phi + i\Psi$ такого фиктивного течения идеальной несжимаемой жидкости, которое обладало бы в точке ζ_j нужной особенностью типа источника и для которого линии $x = 0$ и $x = 2\pi$ являлись бы линиями тока, а $y = \pm a$ — эквипотенциальными линиями. Подобный комплексный потенциал нетрудно построить, используя принцип симметрии, что, очевидно, приводит к двоякопериодической функции (рис. 2), которую целесообразно выразить через θ -функции (7), представимые в виде быстро сходящихся рядов

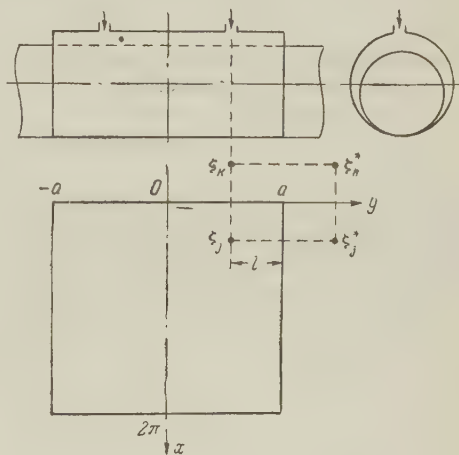


Рис. 2

к двоякопериодической функции (рис. 2), которую целесообразно выразить через θ -функции (7), представимые в виде быстро сходящихся рядов

$$w = \Phi + i\Psi + \alpha \ln \left[\frac{\theta_1(\zeta - \zeta_j/4\pi) \theta_1(\zeta - \zeta_h/4\pi)}{\theta_1(\zeta - \zeta_j^*/4\pi) \theta_1(\zeta - \zeta_h^*/4\pi)} e^{l(a + i\zeta)/2a} \right]. \quad (7)$$

Вещественную постоянную α можно выразить через весовой расход газа G от источника в точке ζ_j . Как известно (8), расход G выражается через функцию давления P следующим образом:

$$G = - \frac{r}{12\mu} \int_0^{2\pi} h^3 \frac{\partial P}{\partial r} d\theta, \quad (8)$$

где интеграл берется по достаточно малой окружности радиуса r с центром в источнике. Поскольку уравнение (1) эквивалентно системе уравнений

$$h^3 \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad h^3 \frac{\partial P}{\partial y} = - \frac{\partial \psi}{\partial x},$$

показывающей, что интеграл (8) не зависит от радиуса r окружности интегрирования (факт физически очевидный), то, вычисляя его вдоль

окружности бесконечно малого радиуса, после простых выкладок получаем

$$\alpha = -\frac{6\mu G}{\pi h^3(x_j)} \quad (9)$$

В заключение заметим, что если рассматриваемая краевая задача ставится не для прямоугольной области, а для полосы со сторонами $x=0$ и $x=2\pi$ (случай подшипника бесконечной длины), то выражение (7) упрощается и принимает вид

$$\omega = \Phi + i\Psi = \alpha \ln \sin \frac{\zeta - \zeta_j}{4} \sin \frac{\zeta - \zeta_k}{4} \quad (7')$$

Отметим также, что при наличии у искомого решения нескольких особенностей типа источник комплексный потенциал строится в виде суммы выражений вида (7) или (7') с коэффициентами (9).

Московский авиационный институт
им. Серго Орджоникидзе

Поступило
5 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. А. Слезкин, Динамика вязкой несжимаемой жидкости, 1955.
² Я. М. Котляр, Изв. АН СССР, ОТН, № 10 (1957). ³ Л. И. Седов, Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики, 1950. ⁴ Г. А. Домбровский, ДАН, 103, № 1 (1955). ⁵ Ю. В. Руднев, Теоретическая гидромеханика, Сборн. под ред. Л. И. Седова, № 16, в. 6, 1955. ⁶ Я. М. Котляр, Изв. АН СССР, ОТН, № 5 (1958).
⁷ Е. Янке, Ф. Эмде, Таблицы функций, 1949.

А. А. ЗАЙЦЕВ и М. Я. ВАСИЛЬЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ СЛОЕВ МЕТОДОМ ВОЗМУЩЕНИЙ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 12 III 1959)

Экспериментальному исследованию слоистого положительного столба посвящены работы многих авторов, однако явления, связанные с установлением слоистого состояния, систематически не изучались.

В данной работе поставлена задача исследовать характер протекания процесса формирования подвижных слоев. Для этого положительный столб следует рассматривать в переходном состоянии от однородной формы к слоистой. В ⁽¹⁾ показано, что путем наложения колебаний извне на стационарный разряд, характеризующийся в отсутствие постороннего вмешательства однородным положительным столбом, удастся искусственно вызывать и поддерживать подвижные слои. Это возможно только когда положительный столб, вследствие особенностей происходящих в нем процессов, обнаруживает тенденцию к расслоению. Подвижные слои могут зарождаться также в результате однократного возмущения состояния разряда, однако в этом случае возникающие слои постепенно расплываются и исчезают, так что с течением времени положительный столб снова возвращается к первоначальной (т. е. однородной) форме. Это явление лежит в основе методики, использованной в настоящей работе.

Применялся метод импульсных возмущений. Импульсы напряжения прямоугольной формы шириной 1 мсек. при частоте 50 сек⁻¹ подаются либо на цилиндрический зонд, ориентированный перпендикулярно к оси разряда, либо на охватывающее трубку металлическое кольцо при различных положениях кольца относительно катода. Изучение переходных процессов в положительном столбе велось при помощи фотоэлектронного умножителя и катодного осциллографа со ждущей разверткой. Схема развертки запускалась от импульсного устройства.

Основной трудностью при подготовке эксперимента был выбор условий в разряде, при которых положительный столб в основном состоянии имеет однородную форму, а действие внешней силы вызывает его расслоение. При этом для использования выбранной методики существенно, чтобы время восстановления однородного состояния столба было меньше продолжительности интервала между импульсами. Оказалось удобным пользоваться гелием и смесями инертных газов с парами ртути, в которых требуемые условия осуществляются в достаточных пределах изменения силы тока и давления. Чтобы предотвратить возможность возникновения собственных колебаний анодного падения напряжения, которые служат помехой проводившимся наблюдениям, анод изготовлялся в виде полого конуса вращения. Катод представлял собой спираль, покрытую оксидным слоем.

В гелии при давлениях меньших 1 мм рт. ст. в области малых токов положительный столб имеет однородную форму. Так, в трубке диаметром 2,4 см при давлении 0,8 мм с увеличением силы тока подвижные слои возникают вблизи тока 110 ма. Ниже этого критического тока вследствие импульсного возмущения положительный столб обнаруживает колебания яркости све-

чения с убывающей амплитудой. На рис. 1а и 1б видны огибающие колебаний для токов 106 и 96 ма при одинаковом масштабе времени (импульсы подаются на зонд, расположенный в катодной области на расстоянии 0,3 см от катода). Степень затухания колебаний зависит от силы тока. Чем больше величина тока отличается от критической, тем сильнее затухание. Ниже приведены числовые данные для длительности времени $\tau_{\text{зат}}$, в течение которого колебания практически полностью затухают.

$I, \text{ ма}$	50	60	70	80	94	106
$\tau_{\text{зат}}, \text{ сек.}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$

При силе тока выше 106 ма за время между последовательными импульсами амплитуда колебаний уже не уменьшается до нуля. В состоянии, близком к порогу спонтанного возникновения подвижных слоев, колеба-

ния затухают очень медленно, так что при этом условии для исчезновения колебаний требуются секунды.

На рис. 1в представлена осциллограмма того же процесса, что на рис. 1а при большей скорости записи. По смещению картины на экране осциллографа при перемещении фотоэлектронного умножителя вдоль трубки можно установить, что колебания связаны с подвижными слоями, движущимися от анода к катоду. В любом данном положении умножитель регистрирует изменение яркости свечения во времени, давая частоту слоев. Как видно из рисунка, в некотором интервале времени колебания оказываются модулированными по амплитуде (яркость слоев периодически изменяется), причем

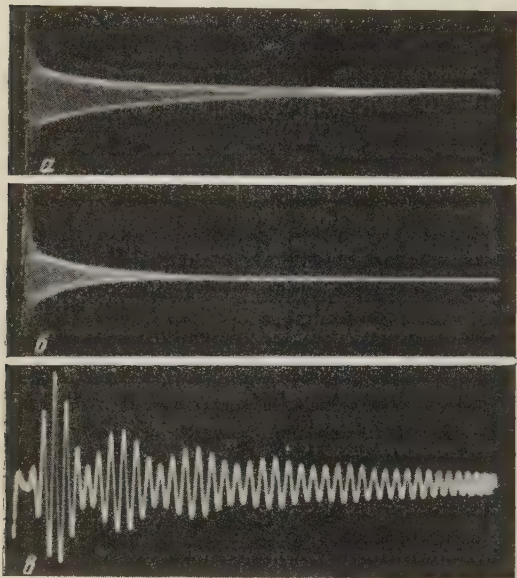


Рис. 1

глубина модуляции резко убывает с течением времени. Соответствующие группы модулированных колебаний наблюдаются в сторону анода от головы положительного столба в более поздние моменты времени. Это обстоятельство дает указание на связь между отдельными слоями; оно может быть истолковано таким образом, что изменение яркости одного слоя вызывает изменение яркости соседнего слоя, примыкающего к нему с анодной стороны, действуя с запаздыванием.

Сдвижением слоев непосредственно связано колебание анодного падения напряжения с частотой подвижных слоев. Поэтому при наличии в положительном столбе подвижных слоев всегда происходит колебание тока в цепи разряда. Очевидно, что когда изменение состояния плазмы, сопровождаемое изменением свечения газа, имевшее место в какой-либо момент времени в области головы положительного столба, пересечет разрядный промежуток, передаваясь от слоя к слою, произойдет изменение среднего значения напряжения на электродах трубки. Это изменение напряжения может послужить толчком, дающим начало повторному процессу пространственно-временной модуляции яркости слоев, и т. д. Согласно приведенному рассуждению, период модуляции τ равен времени, необходимому для продвижения групп колебаний, подобных изображенным на рис. 1в, от катода к аноду. Действительно, наблюдения показывают, что $\tau = l/v$, где l — длина положительного столба, v — скорость распространения изменения яркости слоев.

Воздействие на катодную область не является основным условием, необходимым, для искусственного возбуждения слоистого состояния. Опы-

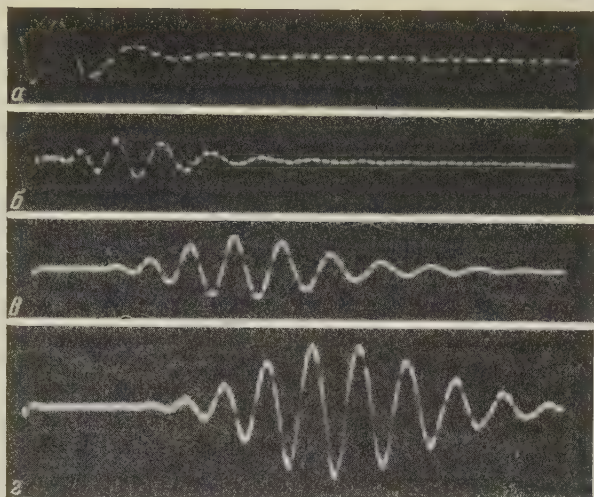


Рис. 2. Осциллограммы переходного процесса при различных расстояниях d умножителя от источника возмущения. Время возрастает слева направо. Длительность метки времени 10^{-4} сек. $a - d = 3$ см, $б - 9,8$ см, $в - 19,2$ см, $г - 28$ см

ты показывают, что слои возникают при наложении импульсов на зонд, отстоящий на достаточно большое расстояние от катода. Это происходит всегда так, что слоистая форма столба образуется с запаздыванием в сторону анода (²). На рис. 2 показаны осциллограммы, полученные на разных местах вдоль трубки по анодную сторону от области возмущения. Условия следующие: разряд при токе 220 ма происходит в трубке диаметром 2,3 см, содержащей аргон при давлении 1 мм и пары ртути около 7 μ рт. ст.; импульсы подаются на зонд, отстоящий на 10 см от головы положительного столба. Осциллограммы указывают, что возмущение, имевшее место в нулевой момент времени, порождает то, что можно назвать волной расслоения положительного столба, бегущей в направлении от источника возмущения к аноду. Из времени, прошедшего между импульсом и появлением колебаний, по осциллограммам изменяется время продвижения фронта волны расслоения от источника до точки, где эта волна наблюдается, следовательно, может быть вычислена скорость распространения волны. Найденная скорость волны увеличивается от скорости перемещения максимальной амплитуды группы колебаний. Скорость волны расслоения оставляет (в данном случае) около 180 м/сек, а максимальная амплитуда группы колебаний продвигается с меньшей скоростью (~ 80 м/сек).

Таблица 1

i , ма	v_1 , м/сек	v_2 , м/сек	v_3 , м/сек
He, $p = 0,9$ мм, d трубки 2,4 см			
60	$26 \cdot 10^2$	$12,6 \cdot 10^2$	$7,3 \cdot 10^2$
70	$26 \cdot 10^2$	$13 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^2$
80	$25 \cdot 10^2$	$13 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^2$
90	$24 \cdot 10^2$	$13 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^2$
100	$27 \cdot 10^2$	$13 \cdot 10^2$	$7,5 \cdot 10^2$
Ar + Hg, $p_{Ar} = 4$ мм, d трубки 2,2 см			
90	—	42	39
100	—	41	38
120	68	43	37
140	68	42	37
160	68	41	38
180	67	43	37
Ne + Hg, $p_{Ne} = 4$ мм, d трубки 2,2 см			
14	111	74	55
25	109	76	65
40	109	85	81
60	112	97	95
80	112	—	—
100	109	—	—

В табл. 1 приведены результаты измерений скорости волны расслоения v_1 , скорости продвижения максимальной амплитуды группы колебаний v_2 и скорости движения слоев v_3 при других условиях. Данные, по которым определялись скорости v_1 и v_2 , были получены из осциллограмм, аналогичных приведенным на рис. 2.

Во всех случаях скорость волны расслоения оказалась выше скорости движения слоев. Опыты не обнаружили изменения v_1 в зависимости от силы тока. Скорость волны расслоения зависит от сорта газа. Она уменьшается в последовательности: He, Ne + Hg, Ar + Hg.

В разряде в гелии скорость волны расслоения измерялась в трубках разного диаметра. В соответствии с законами подобия скорость v_1 является функцией от произведения давления p на радиус трубки r . В исследованных пределах изменения pr от 0,4 до 1,5 зависимость v_1 от pr можно выразить эмпирической формулой

$$v_1 = \frac{C}{(pr)^n},$$

где константа $n = 1,6$. Если скорость выражена в см/сек, то константу C надо положить равной $2,8 \cdot 10^5$.

Явление образования слоев обусловлено особенностями самой плазмы положительного столба. При этом существенное значение имеют род газа, давление и сила тока в разряде. Слои наблюдаются при диффузионном режиме давления. Процессы возникновения слоистой формы положительного столба протекают сходным образом как в случае подвижных, так и в случае неподвижных слоев⁽³⁾. По своей природе подвижные слои отличаются от так называемых электростатических волн плазмы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
11 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Зайцев, Вестн. МГУ, № 10, 41 (1951); ДАН, 79, 779 (1951); 84, 41 (1952).
² Л. Пекарек, Вестн. МГУ, № 3, 73 (1954). ³ А. А. Зайцев, В. Е. Мицук, ДАН, 119, 469 (1958).

Академик АН КазССР Ж. ТАКИБАЕВ

О РОЛИ АНТИНУКЛОНОВ И МЕЗОНОВ ВО ВТОРИЧНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Исследование углового распределения тонких следов в ливнях, зарегистрированных в фотоэмульсиях, дает основание выдвинуть гипотезу о высокой степени возбуждения сталкивающихся нуклонов, испускающих затем мезоны каждый в отдельности. Такая гипотеза о существовании двух возбужденных нуклонных центров испускания π -мезонов в ц-системе высказывалась рядом авторов⁽¹⁾. Однако дальнейшее экспериментальное исследование показало, что коэффициент неупругости (доля энергии, передаваемой генерированным частицам) в большинстве случаев порядка 0,15—0,20, что не согласуется с моделью двух нуклонных центров испускания мезонов, согласно которой этот коэффициент порядка

$$K \sim \frac{\gamma_c - \tilde{\gamma}}{\gamma_c} \leq 1.$$

Это обстоятельство заставило ряд авторов⁽²⁾ видоизменить модель двух возбужденных нуклонов.

Суть модернизации сводится к предположению об образовании после соударения двух мезонных облаков (fire ball) и двух нуклонов (возможность такой трактовки имела уже в работе Такаги⁽¹⁾). Роль двух центров испускания выполняют в новой модели образованные мезонные облака. Поскольку теперь происходит распределение энергии между нуклоном и мезонным облаком, то легко удастся подобрать нужный коэффициент неупругости.

Оказывается, новая модель также не объясняет ряда экспериментальных данных, полученных в нашей лаборатории.

Во-первых, в ряде случаев при приблизительно одинаковой энергии первичных частиц и одинаковой множественности наблюдается как угловое распределение («двугорбое»), объясняемое этой моделью, так и угловое распределение («одногорбое»), которое не требует привлечения модели двух центров. Ситуация такова, что в одних и тех же условиях наблюдаемое распределение одних ливней объясняется, а других ливней не объясняется этой моделью.

Во-вторых, согласно модели двух центров, в случае соударения π -мезона с нуклоном, вероятнее всего, образуется один испускающий центр, что противоречит экспериментальным наблюдениям — обнаружению в нашей лаборатории «двугорбого» распределения в случае соударения π -мезона с нуклоном. Имеется еще ряд других соображений, говорящих не в пользу модели двух центров.

В литературе не обсуждалась еще роль соударений антинуклонов с мезонами, генерированных в первичном акте соударения, с другими нуклонами ядра, покажем, что такой учет может объяснить характер наблюдаемых угловых распределений в л-системе. Для примера проанализируем угловое распределение (рис. 1) тонких следов ливня 35 + 59 р. Угловое распределение $dN/d[\ln \lg \theta]$ ливневых частиц характеризуется двумя максимумами и не объясняется периферическими соударениями, так как представляется крайне маловероятным большое количество периферийных соударе-

ний налетающего нуклона с нуклонами ядра, оказавшимися в «трубке». Что же касается гидродинамической теории, то из нее не следует наличия таких двух максимумов.

Предположим, что в результате соударения налетающего нуклона с одним из нуклонов (или с группой нуклонов, составляющих, возможно, единую сплошную среду) ядра-мишени генерируется около 30 заряженных частиц. Большинство их является π -мезонами. Среди генерированных частиц, одна-

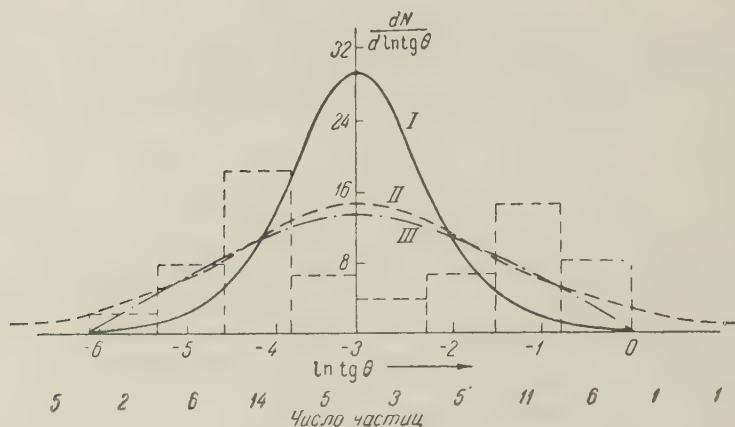


Рис. 1. Гистограмма углового распределения ливневых частиц звезды $20+15+59p$ в л-системе. I — кривая изотропного распределения в ц-системе; II и III — угловое распределение по Гейзенбергу и Ландау

ко, может быть некоторое количество странных частиц и антинуклонов. Генерированные в первом акте соударения частицы, оказавшись в узком конусе, двигаются почти в одном направлении и могут, в свою очередь, образовать в результате нескольких соударений также около 30 заряженных частиц. Тогда энергия налетающей частицы оценивается положением левого максимума углового распределения, изображенного на рис. 1. Это означает, что $(\ln \gamma_c)_I = 4,2$, если предположить изотропное угловое распределение генерированных частиц в ц-системе. Положение же второго (правого) максимума в среднем определяет значение энергии вторичных частиц, т. е. тех частиц, которые в результате соударения с нуклонами ядра мишени образуют 30 заряженных частиц. Если так, то $(\ln \gamma_c)_{II} = 1$. (Заметим, что в действительности, за счет рассеяния и расхождения пучка $(\ln \gamma_c) \geq 1$.) Тогда, обозначив $f(x) = dN/d[\ln \lg \theta]$, мы в случае изотропного углового распределения и степенного энергетического спектра генерированных частиц в соответствующих ц-системах можем написать:

$$f(x) = \frac{3/2 e^{2(L_1+x)}}{[1 + e^{2(L_1+x)}]^{3/2}} + \frac{3/2 e^{2(L_2+x)}}{[1 + e^{2(L_2+x)}]^{3/2}},$$

где параметры L_1 и L_2 принимаются соответственно равными 4,2 и 1 в случае звезды $35+59p$. Соответствующее этому дифференциальному распределению интегральное распределение запишется так:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{2[1 + e^{2(L_1+x)}]^{1/2}} - \frac{1}{2[1 + e^{2(L_2+x)}]^{1/2}}.$$

Удобно пользоваться другой функцией:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}(x) &= \ln \left[\frac{F(x)}{1 - F(x)} \right] = \\ &= \ln \left[\frac{2[(1 + e^{2(L_1+x)})(1 + e^{2(L_2+x)})]^{1/2} - [1 + e^{2(L_1+x)}]^{1/2} - [1 + e^{2(L_2+x)}]^{1/2}}{[1 + e^{2(L_1+x)}]^{1/2} + [1 + e^{2(L_2+x)}]^{1/2}} \right]. \end{aligned}$$

На рис. 2 проводится сравнение этой кривой с распределением ливневых частиц звезды 35 + 59 p. Согласие вполне удовлетворительное. Аналогичное сравнение можно проводить для любой звезды.

Таким образом, картину генерации ливневых частиц мы представляем приблизительно следующим образом:

1. В случае большой множественности угловое распределение частиц, сгенерированных при первом этапе соударения налетающей частицы с какой-то частью ядра-мишени, является почти изотропным в ц-системе.

2. Угловое распределение подвержено большим флуктуациям⁽³⁾. В связи с этим угловое распределение при первом соударении может объясняться как случайной флуктуацией, так и большим значением энергии налетающей частицы.

3. Наблюдаемое угловое распределение $\Delta N/\Delta x$ в л-системе может оказаться соответствующим анизотропному распределению в ц-системе, но эта кажущаяся анизотропия является результатом наложения, грубо говоря, двух типов соударений, в которых $(\gamma_c)_I \gg (\gamma_c)_{II}$.

4. В случае $(\gamma_c)_I \gg (\gamma_c)_{II}$ наблюдается «двугорбость» в дифференциальном угловом распределении, что соответствует наличию плато в интегральном распределении $\mathcal{F}(x) = \ln \left[\frac{F(x)}{1-F(x)} \right]$. Такое распре-

деление мы связываем с наличием вторичных соударений. В случае, когда $(\gamma_c)_{II}$ мало, мы, по-видимому, имеем дело в основном с аннигиляцией антинуклонов, сгенерированных в первом этапе соударения. Это обстоятельство связано с тем, что результат взаимодействия (с рождением π -мезонов) антинуклона от результата взаимодействия нуклона отличается повышенной множественностью при относительно малой их энергии.

Анализ угловых распределений частиц всех ливней, в которых обнаруживается «двугорбость», с такой единой точки зрения не противоречит экспериментальным данным, полученным как в нашей, так и в других лабораториях.

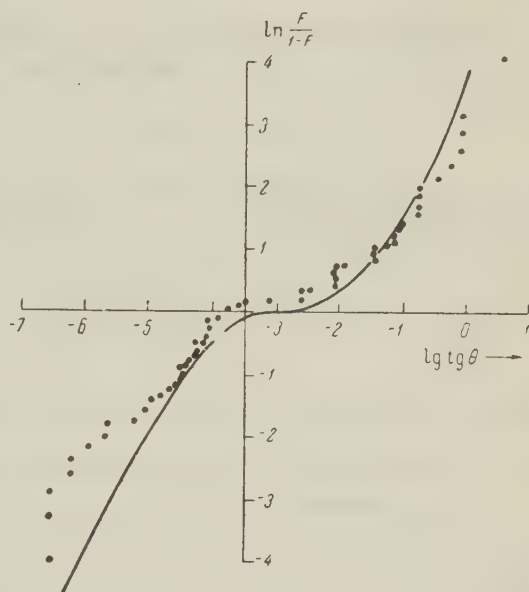


Рис. 2. Интегральное угловое распределение $\ln \left[\frac{F}{1-F} \right]$ в зависимости от $\ln \lg \theta$. Кривая $F(x)$ вычислена в предположении наличия вторичных соударений, в которых за счет аннигиляции антинуклонов образуется много π -мезонов

Институт ядерной физики
Академии наук КазССР

Поступило
27 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Л. Фейнберг, Д. С. Чернавский, ДАН, 81, № 5, 795 (1951); S. Takagi, Progr. Theor. Phys., 7, 123 (1952); W. L. Kraushaar, L. I. Marks, Phys. Rev., 133, 326 (1958); Z. Koba, Progr. Theor. Phys., 17, 288 (1957). ² P. Cioek, T. Coghlen et al., Nuovo Cim., 8, 166 (1958); 10, 741 (1958); G. Cocconi, Phys. Rev., 111, № 6, 1699 (1958); K. Nii, Nuovo Cim., 10, 994 (1958). ³ Ж. С. Такибаев, ЖЭТФ, 35, 177 (1958).

В. А. БУРКОВ и М. Н. КОШЛЯКОВ

О ДИНАМИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ В ПОЛЕ ГЛУБИННЫХ ТЕЧЕНИЙ ТИХОГО ОКЕАНА

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 14 III 1959)

Динамический баланс в поле интегрального ветрового течения в бароклинном океане описывается в стационарном случае уравнением полных потоков Штокмана — Мунка ^(1, 2):

$$A_l \left(\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} \right) - \frac{df}{dy} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\text{rot}_z \vec{\tau}}{\bar{\rho}} = 0. \quad (1)$$

Здесь ψ — функция полных потоков, причем $\frac{\partial \psi}{\partial x} = S_y = \int_0^H v dz$, где S_y и v — меридиональные составляющие полного потока и скорости, а H — глубина океана; f — параметр Кориолиса; τ — тангенциальное напряжение ветра на поверхности океана; A_l — коэффициент горизонтального турбулентного обмена; $\bar{\rho}$ — средняя плотность океанической воды. Уравнение записано для северного полушария. Однако решение уравнения (1), помимо известных математических трудностей, усложняется еще тем, что величина коэффициента A_l остается в настоящее время неопределенной. Некоторые исследователи считают, тем не менее, что в открытых частях океана первый член уравнения (1), отражающий роль горизонтального турбулентного трения, пренебрежимо мал по сравнению с двумя остальными ^(3, 4). Отсюда вытекает широко распространенное выражение баланса в поле

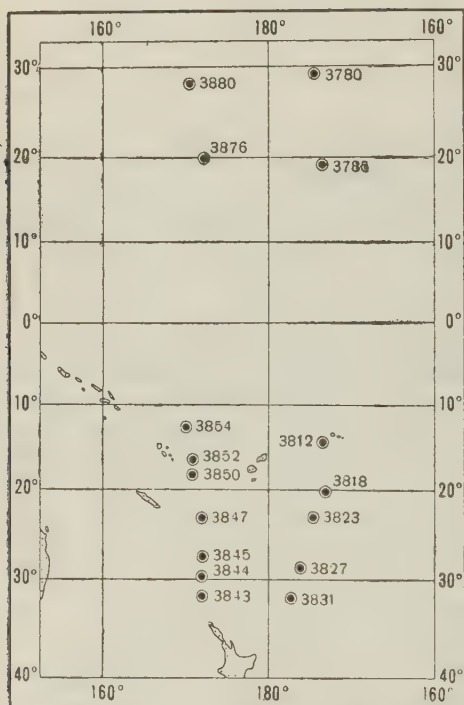


Рис. 1. Положение станций экспедиционного судна «Витязь» в ноябре 1957 г. — феврале 1958 г.

$$\frac{1}{\bar{\rho}} \text{rot}_z \vec{\tau} = \frac{df}{dy} \int_0^H v dz. \quad (2)$$

Смысл этого выражения заключается в том, что в квазистационарной океанической циркуляции в открытых частях Мирового океана дивергенция чисто дрейфового течения уравнивается дивергенцией обратного знака градиентного течения за счет эффекта планетарной завихренности. Полагая

адиентное течение геострофическим, получим окончательно

$$\text{rot}_z \vec{\tau} = \pm \frac{g \text{ctg} \varphi}{R} \int_0^H \left(\frac{\partial}{\partial x} \int_D^z \rho dz \right) dz. \quad (3)$$

здесь g — ускорение силы тяжести; φ — географическая широта; R — радиус Земли; ρ — переменная плотность океанической воды; D — глубина отсутствия геострофического течения. Знак минус в выражении (3) относится к южному полушарию.

Существенное упрощение уравнения (1), связанное с пренебрежением первым членом по сравнению с двумя остальными, позволяет сравнительно легко решать некоторые задачи динамики бароклинного океана. Стоммел,

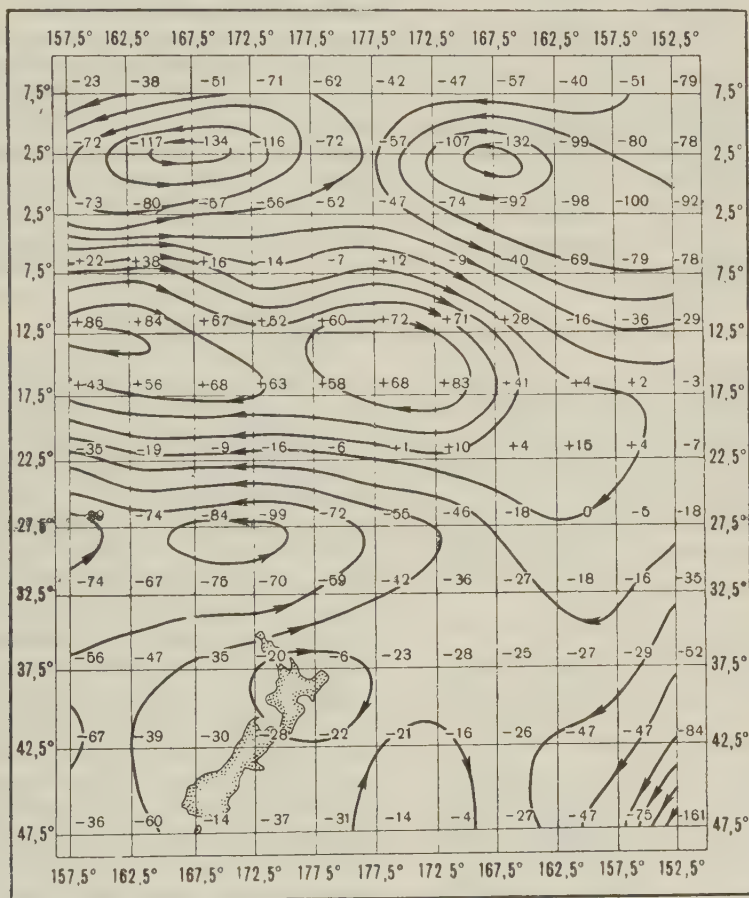


Рис. 2. Пример карты средней многолетней завихренности тангенциального напряжения ветра. Лето южного полушария. Цифры обозначают величины $-\text{rot}_z \vec{\tau} \cdot 10^8 \text{ дин/см}^2$

например, используя выражение (3), определил положение нулевого горизонта (глубины D) в Саргассовом море. Мунк и Керриер на основе уравнения (2) сделали попытку рассчитать величины полных потоков в северной половине Тихого океана (3).

Однако, несмотря на широкое использование условия (2), весьма желательно проверить справедливость его эмпирическим путем. Авторы настоящей статьи делают попытку такой проверки для центральной части Тихого океана.

Таблица 1

Пары станций		Широта пары	Средн. глубина, м	$\text{rot } z^+ \cdot 10^6$, дин/см	Расстояние между станциями, морские мили	Полн. поток, гео- стрф. течения $S_z \cdot 10^{-4}$ при $D=H$ см ² /сек	Дивергенция полн. потока гео- стрф. течения $\text{div } S \cdot 10^4$ при $D=H$	Оптимальн. по- ложение D , м	Полн. поток гео- стрф. течения $S_z \cdot 10^{-4}$ при лож. D , см ² /сек	Дивергенция полн. потока гео- стрф. течения $\text{div } S \cdot 10^4$ при оп- тимальн. положе- нии D	Дивергенция полн. потока чисто дрейф. те- чения, $\text{div } S_d \cdot 10^4$
восточная	западная										
3780 18 XI 1957 г.	3880 17 II 1958 г.	28°0 с. ш.	5650	-70	786	-0,84	2,33	5650	-0,84	2,33	-10,30
3785 22 XI 1957 г.	3876 14 II 1958 г.	49°0 с. ш.	3600	-70	804	-0,36	1,67	3600	-0,36	1,67	-14,80
3812 8-9 XII 1957 г.	3854 2 II 1958 г.	43°5 ю. ш.	2600	-60	960	-0,18	-1,15	2600	-0,18	-1,15	7,10
3812 8-9 XII 1957 г.	3852 1 II 1958 г.	15°5 ю. ш.	3000	-60	936	-0,08	-0,45	3000	-0,08	-0,45	15,00
3818 21-23 XII 1957 г.	3850 31 I 1958 г.	20°0 ю. ш.	3150	-30	900	0,23	1,01	0	-0,61	-2,64	6,05
3823 25-29 XII 1957 г.	3847 24-25 I 1958 г.	23°4 ю. ш.	3750	20	744	-0,07	-0,26	50	0,62	2,02	-3,53
3837 1-2 I 1958 г.	3845 22 I 1958 г.	28°2 ю. ш.	3600	70	624	-0,05	-0,15	0	-0,76	2,29	-10,30
3827 1-2 I 1958 г.	3844 22 I 1958 г.	29°2 ю. ш.	3500	70	624	0,27	0,80	3500	0,27	0,80	-10,00
3821 6-7 I 1958 г.	3843 22 I 1958 г.	31°6 ю. ш.	3000	60	570	-0,20	-0,51	125	0,19	0,49	-7,82

В основу расчетов величин обеих частей уравнения (3) были положены гидрологические данные 9 пар глубоководных станций, выполненных экспедиционным судном Института океанологии АН СССР «Витязь» в центральной части Тихого океана в ноябре 1957 г. — феврале 1958 г. (рис. 1), и завихренность тангенциального напряжения ветра над этой частью океана, заимствованная из работы Н. С. Лыточкиной* (рис. 2). Н. С. Лыточкина рассчитала средние многолетние значения $\text{rot } z^+ \cdot 10^6$ для каждого месяца в северном полушарии и средние многолетние значения для лета южного полушария. В качестве исходных данных для расчета завихренности тангенциального напряжения ветра она принимала соответствующие средние многолетние значения ветра в 5-градусных квадратах (⁵⁻⁷). При расчете Н. С. Лыточкина следовала методике, изложенной Д. А. Дрогайцевым (⁸).

Известно, что система квазистационарных глубинных геострофических потоков в океане весьма устойчива ввиду большого (порядка месяца) периода приспособления потоков к действующему ветру (⁹). Можно считать поэтому, что используемые нами гидрологические данные достаточно хорошо отражают среднесезонные условия. Влияние налагающегося на среднее состояние существенно нестационарного процесса внутреннего волнения было исключено путем осреднения плотности воды вдоль разреза по методу исключения синусоиды. При этом оказалось, что эффект внутреннего волнения мало влияет на результат расчета. Заметим, наконец, что масштаб завихренности ветрового поля значительно превышает расстояние между разрезами «Витязя». Это обстоятельство вместе с указанными выше делает расчет правой части уравнения (3) по нашим данным вполне правомерным.

Глубина станций во всех парах приводилась к средней. При этом учитывалась не только глубина на станциях, но и весь профиль дна вдоль линии, соединяющей пару станций.

* Не опубликовано.

Расчет величин правой части уравнения (3) производился для двух положений нулевого горизонта. В первом случае принималось условие $D = H$; во втором случае выбиралось такое положение нулевого горизонта, чтобы наилучшим образом удовлетворить условию (3), в котором левая часть известна.

Результаты расчетов приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что во всех случаях абсолютная величина дивергенции чисто дрейфового потока намного (в среднем в 10 раз) превосходит величину дивергенции геострофического потока в поле силы Кориолиса, независимо от положения нулевого горизонта. Заметим, что дивергенция чисто дрейфового потока равна левой части уравнения (3), деленной на параметр Кориолиса, переменной знака для южного полушария; дивергенция геострофического потока равна правой части уравнения с тем же коэффициентом и с переменной знака для северного полушария.

Расчеты заставляют нас сделать предварительный вывод, что в центральной части Тихого океана условие (3) не выполняется. Это значит, что при изучении динамики глубинных вод океана мы не можем ограничиться учетом только завихренности ветрового поля над океаном и планетарной завихренности. По-видимому, надо считать, что динамический баланс в системе квазинационарной глубинной океанической циркуляции достигается при активном участии сил горизонтального турбулентного трения.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
11 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Б. Штокман, Тр. Инст. океанологии АН СССР, 3 (1949). ² W. H. Munk, J. of Meteorology, 7, № 2 (1950). ³ W. H. Munk, G. F. Carrier, Tellus, 2, 158 (1950). ⁴ H. Stommel, Deep-Sea Res., 3, № 4 (1956). ⁵ Monthly meteorological charts of the Western Pacific Ocean, Monthly meteorological charts of the Eastern Pacific Ocean, London, 1945. ⁶ Pilot charts of the North Pacific Ocean, 1943—1945, 1949. Pilot charts of the South Pacific Ocean, 1946—1947. ⁷ Д. А. Дрогайцев, Тр. Инст. океанологии АН СССР, 9 (1954). ⁸ П. С. Линеикин, Основные вопросы динамической теории бароклинного слоя моря, Л., 1957.

Ю. А. ИВАНОВ

О СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 14 III 1959)

Для изучения вопроса об изменчивости во времени Антарктического циркумполярного течения использовались материалы наблюдений на семи разрезах экспедиции Дискавери II ⁽¹⁾. Все эти разрезы, выполненные приблизительно через равные промежутки времени (около 1,5 мес.), проходят по 20° в. д. между южной оконечностью Африки и Антарктидой.

По данным наблюдений были вычислены течения динамическим методом на характерных стандартных горизонтах. При этом выяснилось, что структура Антарктического циркумполярного течения периодически изменяется. Так, на первом разрезе течение представляется единым потоком с максимальными скоростями в районе 40° ю. ш., на втором разрезе оно представлено двумя струями с максимальными скоростями течения в районах 48°; 40° ю. ш. и т. д. (см. табл. 1).

Таблица 1

Положение основных струй Антарктического циркумполярного течения

№ разреза	Время	Географическая широта струй течения	
		1-я струя	2-я струя
1	17—25 VII 1938 г.		40°0 ю. ш.
2	24—30 VIII 1938 г.	48°0 ю. ш.	40°0 ю. ш.
3	1—6 X 1938 г.	46°0 ю. ш.	
4	15 II—18 III 1938 г.	48°0 ю. ш.	41°4 ю. ш.
5	11—16 XII 1938 г.		43°0 ю. ш.
6	27 I—5 II 1939 г.	50°0 ю. ш.	42°0 ю. ш.
7	7—18 III 1939 г.	48°0 ю. ш.	

К сожалению, разрезы имеют различную протяженность, что делает невозможным определение границ течения и изменчивости этих границ в течение года. Это обстоятельство затрудняет также вычисление колебаний расхода

Антарктического циркумполярного течения. Тем не менее представляется целесообразным дать хотя бы качественные оценки этих колебаний. Для этой цели были вычислены расходы по общим для пяти разрезов частям ($\phi = 40^\circ, 0$ и $\phi = 54^\circ, 0$ ю. ш.). Результаты вычислений показывают, что колебания расхода Антарктического циркумполярного течения имеют полугодовой период (рис. 1).

Для анализа причин, обуславливающих изменчивость Антарктического циркумполярного течения, целесообразно исследовать характер ветрового поля и его изменения во времени в пределах течения. Для этого по полю среднего атмосферного давления, построенному для летних месяцев южного полушария Г. М. Таубером ⁽²⁾, было вычислено тангенциальное напряжение ветра на разрезе Антарктида — мыс Доброй Надежды. Далее, для выяснения изменений тангенциального напряжения ветра во времени по ежедневным синоптическим картам на 1956 г. были вычислены градиенты давлений по 20° в. д. между 60° и 40° ю. ш. Результаты вычислений показывают, что колебания градиента давления, так же как и колебания расхода, имеют полугодовой период, причем максимальные градиенты атмосферного давления приходятся на весну и осень южного полушария (рис. 1).

Проведенные вычисления показывают, что переменная составляющая тангенциального напряжения ветра с достаточной точностью может быть проксимирована выражением

$$\tau = \tau_0 \cos \left(\sigma_1 y + \frac{\pi}{2} \right) \cos \left(\sigma_2 t + \frac{\pi}{2} \right),$$

— амплитуда [тангенциального напряжения ветра по данным расчета] $\tau_0 = 0,5$ (SGS); σ_1, σ_2 — частоты колебаний: $\sigma_1 = \frac{3}{2} \frac{\pi}{L}$, $\sigma_2 = \frac{2\pi}{T}$; — ширина канала ($60-40^\circ$ ю. ш.); T — период колебаний, равный мес.

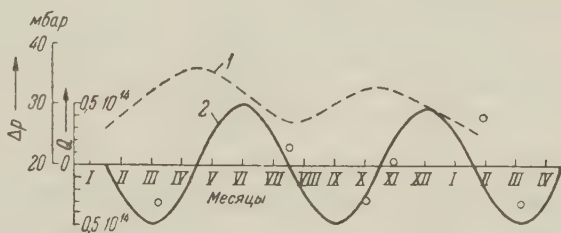


Рис. 1. 1 — изменение градиента атмосферного давления во времени; 2 — изменение расхода Антарктического циркумполярного течения во времени; точки — расходы, вычисленные динамическим методом по данным Дискавери II (1)

Представляет интерес выяснить, являются ли полученные изменения тангенциального напряжения определяющей причиной колебаний расхода Антарктического циркумполярного течения.

С этой целью рассматривается простая модель (все величины от X не зависят) колебаний полного потока, обусловленных колебаниями тангенциального напряжения ветра. Исходная система уравнений записывается в виде

$$\frac{\partial S_x}{\partial t} + \frac{\tau}{\rho} - c S_y = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial S_y}{\partial t} + c S_x = \frac{g}{\rho} \frac{\partial Q}{\partial y}; \quad (2)$$

$$g\rho = - \frac{\partial P}{\partial z}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\partial S_y}{\partial y}, \quad (4)$$

где c — параметр Кориолиса; $S_x = \int_0^H u \, dz$ — переменная составляющая полного потока в направлении X ; $S_y = \int_0^H v \, dz$ — переменная составляющая полного потока в направлении Y ; $Q = \int_0^{H+\zeta} dz \int_0^z \rho \, dz$ — интегральное давление; τ — тангенциальное напряжение ветра; ζ — превышение уровня. В этих уравнениях ось X направлена на восток, ось Y на север, ось Z вертикально вверх.

Заменяя $\rho(x, y, z)$ средним значением плотности $\bar{\rho}$ и пренебрегая малыми членами, можно получить выражение для Q

$$Q = gH \frac{\partial \zeta}{\partial y}.$$

Используя уравнение неразрывности, правую часть уравнения (2) можно записать в виде

$$\frac{g}{\bar{\rho}} \frac{\partial Q}{\partial y} = gH \int_0^t \frac{\partial^2 S_y}{\partial y^2} dt.$$

Тогда уравнения движения примут вид

$$\frac{\partial S_x}{\partial t} + \frac{\tau}{\bar{\rho}} - cS_y = 0; \quad (5)$$

$$\frac{\partial S_y}{\partial t} + cS_x = gH \int_0^t \frac{\partial^2 S_y}{\partial y^2} dt. \quad (6)$$

В результате решения системы (5), (6) и пренебрежения членами на два и более порядков меньших основных членов, были получены выражения для полных потоков

$$S_y = \frac{\tau_0 \cos(\sigma_2 t + \pi/2) \cos \sigma_1 y}{\bar{\rho} c}; \quad (7)$$

$$S_x = \frac{\tau_0 \cos \sigma_2 t \cdot \cos \sigma_1 y}{\sigma_2 \bar{\rho}}. \quad (8)$$

Интеграция (8) от 0 до L дает выражение расхода Антарктического циркумполярного течения

$$R = \frac{\tau_0 \cos \sigma_2 t}{\sigma_1 \sigma_2 \bar{\rho}}. \quad (9)$$

Результаты непосредственных расчетов по выражению (9) нанесены на график (рис. 1). Из рисунка видно, что теоретическая кривая колебаний расхода находится в хорошем согласии с данными расчетов по динамическому методу. Между колебаниями градиента атмосферного давления и колебаниями расхода наблюдается сдвиг фаз, равный $\pi/2$. Необходимо также заметить, что выражение (8) хорошо отражает описанные выше изменения структуры Антарктического циркумполярного течения.

Таким образом, выполненные расчеты показывают, что расход Антарктического циркумполярного течения испытывает существенные колебания с полугодовым периодом, сопровождающиеся периодическими изменениями структуры течения, причем все эти колебания определяются переменным во времени ветровым полем.

Для выяснения многолетней изменчивости Антарктического циркумполярного течения был проведен анализ разрезов, выполненных экспедицией Дискавери II ⁽¹⁾ и Второй советской антарктической экспедицией на дизель-электроходе «Обь» ⁽³⁾. Оба разреза проходят по 20° в. д. от кромки льдов до южной оконечности Африки. Разрез экспедиции Дискавери II сделан в 1939 г. в период с 7 II по 18 II. Разрез Второй советской антарктической экспедиции выполнен в 1957 г. с 21 II по 12 III. Распределение гидрологических характеристик на этих разрезах в общем тождественно. Наиболее существенные различия появляются только в северной части разреза, которая, строго говоря, уже выходит за пределы Антарктического циркумполярного течения. Различия же в распределении температуры и солёности на этих двух разрезах в пределах исследуемого течения незначительны и по существу не сравнимы с изменениями гидрологических характеристик от сезона к сезону.

Для определения многолетней изменчивости циркуляции антарктических вод по этим двум разрезам были подсчитаны скорости течений на характерных стандартных горизонтах. Расход по данным Второй советской антарктической экспедиции получился равным $466,9 \text{ км}^3/\text{час}$, по данным Дискавери II $405,7 \text{ км}^3/\text{час}$. Несущественная разница в расходах, вероятно, может быть объяснена тем обстоятельством, что разрез Дискавери II выполнен менее подробно, чем разрез Второй советской антарктической экспедиции. Результаты произведенных расчетов показывают, что Антарктическое циркумполярное течение или не испытывает существенных многолетних колебаний, или же эти колебания имеют период, близкий к 18 годам (разрез Второй советской антарктической экспедиции выполнен на 18 лет позже разреза Дискавери II).

Надо полагать, что полученные выводы о характере изменений Антарктического циркумполярного течения во времени для района меридиана 10° в. д. могут быть распространены на все кольцо Антарктического циркумполярного течения. Убедительным доказательством этого служит зонально однородное распределение всех гидрологических характеристик.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
13 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Discovery Reports, 24 (1947). ² Г. М. Таубер, Антарктика, ч. I, Основные черты климата и погоды, Л., 1956. ³ Отчет о работах второго рейса Морской Антарктической экспедиции на дизель-электроходе «Обь», ч. II, СССР, Мировой центр данных, 1958.

В. И. КРАСОВСКИЙ, И. С. ШКЛОВСКИЙ, Ю. И. ГАЛЬПЕРИН
и Е. М. СВЕТЛИЦКИЙ

ОБНАРУЖЕНИЕ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ТРЕТЬЕГО
СПУТНИКА ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ ОКОЛО 10 кэВ

(Представлено академиком А. И. Бергом 14 IV 1959)

На третьем советском искусственном спутнике Земли, запущенном 15 V 1958 г., был поставлен эксперимент по непосредственному обнаружению в верхней атмосфере не особенно жестких электронов (1^{1-3}). Несколько более жесткая их компонента исследовалась позднее другими исследователями ($4, 5$). Аналогичные эксперименты проводились с помощью ракет и в области полярных сияний (6).

Описываемый эксперимент характерен тем, что практически регистрировались только электроны с энергиями в десятки килоэлектронвольт. Применяемые индикаторы не реагировали на создаваемое этими электронами в атмосфере и в корпусе спутника рентгеновское излучение, поскольку применялись тонкие флуоресцирующие экраны (ZnS , активированный Ag), содержащие 2 мг вещества на 1 см^2 . Эти экраны поглощали полностью указанные выше электроны и лишь весьма незначительную часть проходящего через них рентгеновского излучения. Протоны с энергиями в несколько десятков килоэлектронвольт на эти индикаторы не воздействовали, поскольку перед экранами были расположены алюминиевые фольги ($0,4$ и $0,8 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2}$). Если бы регистрировалось и рентгеновское излучение, то полученные сведения исказили бы информацию о широтном и высотном распределении корпускул-электронов. Верхняя атмосфера Земли, в особенности в зоне максимальной повторяемости полярных сияний, под воздействием электронов с указанными выше энергиями превращается в излучатель рентгеновских лучей. Примерно половина этого излучения неизбежно уходит во внешнее пространство. Поэтому аппаратура на высотной ракете или спутнике будет облучаться не только рентгеновским излучением, возникающим в их корпусе, но и излучением всей верхней атмосферы. Поскольку рентгеновские лучи наиболее интенсивно генерируются вблизи зоны максимальной повторяемости полярных сияний и эта зона становится видимой над экватором на расстоянии $\sim 2,5$ радиусов Земли от ее центра, то максимальный поток этого излучения над экватором будет вблизи указанной области. В других экспериментах наряду с жесткими электронами и протонами регистрировалось и хорошо проникающее рентгеновское излучение, что делает интерпретацию полученных результатов косвенной или не совсем однозначной.

Поскольку в качестве поглотителей нами применялись алюминиевые фольги различной толщины, то, кроме оценки интенсивности потоков не особенно жестких электронов, удалось оценить и «эквивалентную» энергию электронов. Индикаторы градуировались в параллельном потоке монохроматических электронов, перпендикулярно падающих на флуоресцирующие экраны, для широкого диапазона энергий. С изменением энергии электронов изменялось отношение интенсивностей регистрируемых фотоэле-

ентами излучений одинаковых флуоресцирующих экранов. Поток монохроматических корпускул верхней атмосферы также создавал в обоих индикаторах различные сигналы. Наблюдаемому соотношению сигналов соответствовало определенное значение энергии монохроматических электронов, которое и было названо «эквивалентной» энергией электронов. Чувствительность примененных индикаторов для электронов с энергией 10 кэВ по сравнению с электронами с энергией 40 кэВ уменьшалась в 30 раз для тонкой и в $3 \cdot 10^3$ раз для толстой фольги. Таким образом, «эквивалентное» значение указывало, что большинство электронов имеет энергии, меньшие «эквивалентной». В пределах шкал измерений и вследствие некоторых неоднородностей толщин фольг примененные индикаторы регистрировали электроны с энергиями, начиная с 10 кэВ. Характеристика усилителей была сделана нелинейной и, по возможности, такой, чтобы регистрировать логарифмы интенсивности излучения флуоресцирующих экранов. Это было осуществлено с точностью в несколько десятков процентов. Прежде всего определялась разность логарифмов токов двух индикаторов, а по ней на основании градуировочных кривых «эквивалентная» энергия электронов. По «эквивалентной» энергии находился «эквивалентный» ток потока монохроматических электронов, а затем и его «эквивалентная» мощность, являющаяся произведением «эквивалентных» энергий и токов.

Перед индикаторами располагались ограничительные диафрагмы, обеспечивавшие регистрацию корпускул в телесном угле в $1/4$ стерадиана. Чтобы получить величины «эквивалентных» токов и мощностей, рассчитанные на стерадиан, измеренные значения должны быть умножены на 4. Наметьте однако, что электронные потоки могут обладать значительной анизотропией.

Имеющийся в нашем распоряжении радиотелеметрический материал позволяет сделать ряд новых заключений, весьма существенных с геофизической точки зрения. Впервые при исследовании верхней атмосферы обнаружены непосредственно не особенно жесткие электроны с энергией около 10 кэВ, они регистрировались на высотах от 470 до 1880 км над уровнем моря. Наименьшая интенсивность зарегистрирована над геомагнитным экватором на высоте около 1300 км. При «эквивалентной» энергии около 20 кэВ их минимальный ток оценивается приблизительно как 10^{-14} а·см⁻²·стерадиан⁻¹. На средних и полярных широтах, вплоть до 60° геомагнитной широты, для электронов с эквивалентной энергией около 12 кэВ обычен в ночное время ток $5 \cdot 10^{-11}$ а·см⁻²·стерадиан⁻¹ и иногда более чем 10^{-10} а·см⁻²·стерадиан⁻¹. Отдельные повышенные значения регистрируемого тока отмечались даже на 4° геомагнитной широты. Небезынтересно отметить, что появление значительных регистрируемых токов наблюдается во внеэкваториальной зоне повышенной ионизации в области F, описанной в (7)

При постановке эксперимента не ожидалось, что интенсивность потоков электронов окажется столь большой. Вследствие этого во многих случаях аппаратура находилась в зашкаленном состоянии, и тогда было невозможно оценить интенсивность и «эквивалентную» энергию регистрируемых электронов. Одновременных отсчетов двух индикаторов в незашкаленном состоянии оказалось немного. На рис. 1 изображена зависимость интенсивности токов электронов от их «эквивалентной» энергии на участке от —42 до —54° геомагнитной широты в области высот от 1720 до 1880 км в ночное время 6 V 1958 г. над южной частью Тихого океана. По оси абсцисс в линейном масштабе отложены значения «эквивалентной» энергии электронов в кэВ, а по оси ординат в логарифмическом масштабе — плотности их «эквивалентных» токов в а·см⁻² при условии, что они соответствуют параллельному потоку электронов, т. е. без умножения измеренных значений на 4 стерадиан⁻¹. Концентрическими кружками отмечены повторяющиеся значения равных интенсивностей с одинаковыми «эквивалентными» энергиями частиц. С увеличением «эквивалентной» энергии электронов их численность быстро уменьшается.

При вращении спутника вокруг его двух осей происходили существенные изменения интенсивности электронных потоков. Однако иногда наблюдались вариации интенсивности и «эквивалентной» энергии электронов за промежутки времени, гораздо меньшие самого короткого периода вращения спутника. Самые быстрые обнаруженные изменения происходили за время около $1/2$ сек. Более быстрые изменения не зарегистрированы. Вращение спутника изменяло положение входного окна индикаторов относительно направления магнитных силовых линий.

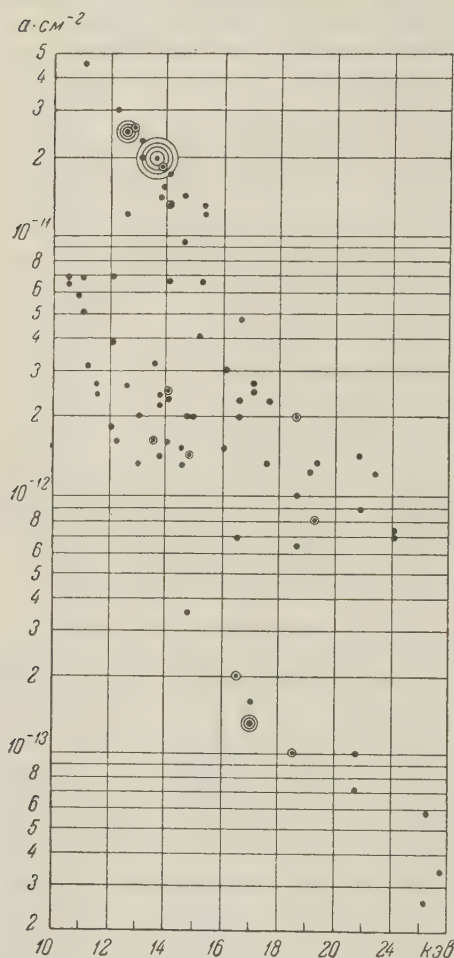


Рис. 1

По своей величине он близок к той, которая по Бейтсу ⁽⁹⁾ и Чепмену ⁽¹⁰⁾ необходима для поддержания градиента температуры в верхней атмосфере около $5^\circ/\text{км}$ и которая не может быть обеспечена за счет жесткого электромагнитного излучения Солнца.

Поскольку обнаруженные электронные потоки наиболее интенсивны в более высоких геомагнитных широтах, можно подозревать, что они являются источниками разогревания и расширения верхней атмосферы, обнаруженного по торможению искусственных спутников Земли ^(11, 12). Вариации интенсивности потоков этих электронов, зависящие от солнечной активности, могли бы объяснить обнаруженную корреляцию между величиной торможения спутников и интегральным эффектом хромосферных вспышек ⁽¹³⁾.

Поток электронов с энергией около 10 кэв, проникающий в более низкие слои атмосферы и поглощаемый в них, столь велик, что не может быть объяснен за счет космических лучей ⁽¹⁴⁻¹⁷⁾.

«Эквивалентная» энергия электронов в более низких широтах имела повышенные значения. Максимальная зарегистрированная величина 40 кэв. В полярных областях зарегистрированы только наименьшие значения около 10 кэв.

Можно оценить телесный угол вокруг магнитной силовой линии, внутри которого заряженные корпускулы проникают в атмосферу ниже данной высоты ⁽⁸⁾. Например, на геомагнитной широте 50° раствор критического телесного угла для обеспечения проникновения частиц с высот 1500—2000 км в районы ниже слоя F ионосферы должен иметь величину около 100° , что больше угла захвата индикаторов. В свете этого представляется возможным оценить полный поток быстрых электронов, проникающих в более низкие слои атмосферы. Так например, для случая минимальных токов этот поток энергии равен приблизительно $1 \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, что вполне достаточно для дополнительной ионизации и разогрева верхней атмосферы.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Красовский, Ю. М. Кушнир, Г. А. Бордовский, Усп. физ. наук, **64**, № 3, 425 (1958). ² В. И. Красовский, Ю. М. Кушнир, Г. А. Бордовский, Е. М. Светлицкий, Сообщ. на 5-й Ассамблее МГТ в Москве, август, 1958. ³ В. И. Красовский, Ю. М. Кушнир, Г. А. Бордовский, Е. М. Светлицкий, Искусственные спутники Земли, в. 2, Изд. АН СССР, 1959, стр. 59. ⁴ J. Van Allen, C. McIlwain, G. Ludwig, Сообщ. на 5-й Ассамблее МГТ в Москве, август, 1958. ⁵ С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков, В. Вакулов, Ю. И. Логачев, ДАН, **125**, 304 (1959). ⁶ L. H. Meredith, R. Davis, J. P. Herrner, O. E. Berg, Сообщ. на 5-й Ассамблее МГТ в Москве, август, 1958. ⁷ J. E. Appleton, Nature, **157**, 691 (1946). ⁸ В. Д. Плетнев, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 8 (1959). ⁹ D. R. Bates, Proc. Phys. Soc., London, **54**, 805 (1951). ¹⁰ S. Chapman, Smithsonian Contributions to Astrophysics, **2**, 1 (1957). ¹¹ М. Л. Лидов, Искусственные спутники Земли, в. 1, Изд. АН СССР, 1958, стр. 9. ¹² П. Е. Эльясберг, Искусственные спутники Земли, в. 1, Изд. АН СССР, 1958, стр. 21. ¹³ T. Nollweiler, Nature, **182**, 468 (1958). ¹⁴ H. Griem, F. Singer, Phys. Rev., **99**, 608 (1955). ¹⁵ S. F. Singer, Bull. Am. Phys. Soc., **1**, 229 (1956). ¹⁶ S. F. Singer, Congress of International Astronautical Federation Amsterdam, august, 1958; Astronautica Acta, Preprint (1959). ¹⁷ С. Н. Вернов, В. Вакулов, Е. В. Горчаков, Ю. И. Логачев, А. Е. Чудаков, Искусственные спутники Земли, в. 2, Изд. АН СССР, 1959, стр. 61.

А. П. НИКОЛЬСКИЙ

СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОНЫ КАК ПРИЧИНА УТРЕННИХ И НОЧНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 4 II 1959)

В результате исследований магнитных возмущений, проведенных в Арктическом институте в период 1938—1948 гг., нами (1,2) были обнаружены новые факты и закономерности этих явлений и сделан ряд попыток объяснить их природу. Однако в настоящее время в связи с расширением знаний о магнитных возмущениях в высоких широтах возникает необходимость в пересмотре с новых точек зрения некоторых наших выводов и объяснений.

Ранее мы предполагали, что утренние и ночные магнитные возмущения, характерные для высоких широт, вызываются солнечными частицами разных знаков — скорее всего электронами и протонами соответственно. Это

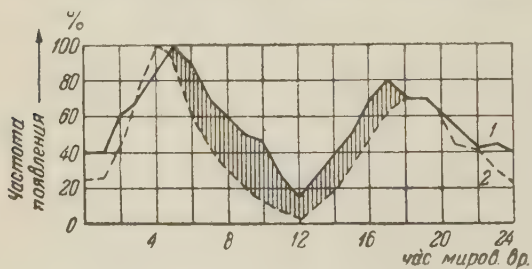


Рис. 1. Распределение индексов магнитной активности > 10 в течение суток в бухте Тихой. 1 — в сильных магнитных бурях; 2 — в остальные дни

предположение обосновывалось рассмотрением многих фактов, из которых один из главных был следующий. Если по данным бухты Тихой построить кривую распределения магнитной активности в течение суток (по ежечасным характеристикам) отдельно для сильных магнитных бурь и для остальных дней, то в дни с бурями четко обнаруживается смещение утреннего максимума на более поздние часы и ночного максимума на более ран-

ние (рис. 1). Предполагая, что в солнечных корпускулярных потоках, ответственных за большие магнитные бури, средняя скорость корпускул больше, чем в потоках, вызывающих слабые бури, естественно было объяснить смещение максимумов активности именно этой причиной. Различный эффект в изменении времени появления максимума для утренних и ночных возмущений можно было интерпретировать как признак различия в знаке корпускул, ответственных за утренние и ночные возмущения.

Наши более поздние исследования (3,4), основанные на большем материале наблюдений с большего числа станций, позволили сделать новые выводы о природе магнитных возмущений в высоких широтах. Было показано, что изохроны утреннего максимума магнитных возмущений представляют собой спирали, выходящие из полюса однородного намагничивания и разветвляющиеся по часовой стрелке. Мы интерпретировали эти спирали как спирали осаждения солнечных корпускул Штёрмера (5). В этом случае причиной утренних возмущений должны быть протоны. Заметим, что факт вторжения протонов в верхний слой земной атмосферы не представляется в настоящее время гипотетичным. Ранее мы предполагали, что утренние возмущения вызываются электронами, что, по-видимому, было неверно. Идеи Беннэтта

о самофокусирующихся потоках солнечных корпускул, в свою очередь, указывают на возможность подхода к Земле пучков протонов. На возможность проникновения к Земле сгустков протонов, которые вблизи Земли могут двигаться по штёрмеровским траекториям, указывает С. Б. Пикельнер⁽⁷⁾. Таким образом, возможность проникновения в верхние слои земной атмосферы протонов теоретически более обоснована, чем возможность проникновения электронов.

В настоящее время имеются определенные попытки возродить теорию полярных сияний и магнитных возмущений Биркеланда — Штёрмера. Эти попытки объясняются, в частности, тем, что в связи с обнаружением в межпланетном пространстве ионизированного газа достаточной плотности критика теории Биркеланда — Штёрмера, высказанная Шустером, Линдеманом Ферраро, становится несостоятельной, поскольку в этой критике принималось, что межпланетное пространство пусто. Наиболее интересные и обещающие исследования в этом направлении проводят Беннеттом⁽⁸⁾.

Как следствие теории Штёрмера⁽⁵⁾ можно предполагать, что на спирали осаджения заряженных частиц, в том числе и для протонов, в Арктике (рис. 2) существуют области, в которых происходит сгущение траекторий протонов. Эти области центрированы на 15; 20; 02 и 08 час. местного геомагнитного времени — мы назвали их соответственно областями А, Б, В, Г.

Из непосредственных наблюдений утреннего максимума магнитных возмущений мы имели возможность провести спирали в долготном направлении только на ограниченном протяжении — порядка 180°. Как следствие из теории Штёрмера для земных условий можно предполагать, что действительная спираль осаджения протонов в Арктике захватывает 360°, т. е. все сутки. На основе большого материала и дополнительных соображений нами⁽⁸⁾ были проведены в первом приближении зоны А, Б, В и Г на земной поверхности, которые представляют собою геометрическое место перемещения областей А, Б, В и Г за один оборот Земли вокруг своей оси. В этом случае можно предполагать, что ночной максимум магнитных возмущений будет представлять собою не что иное, как суммарный эффект зон Штёрмера Б и В, приходящихся соответственно на 20 и 02 часа. Если это так, то как утреннее, так и ночные магнитные возмущения являются результатом вторжения верхние слои земной атмосферы только протонов.

Этот вывод находится в полном противоречии с тем, что нами предполагалось ранее, а именно, что утренние и ночные возмущения вызываются частицами разных знаков, соответственно электронами и протонами. Без устранения этого серьезного противоречия не представлялось возможным проводить дальнейшую физическую интерпретацию обнаруженных фактов.

Анализ следствий, которые вытекают из теории Штёрмера, дает возможность устранить указанное противоречие. Действительно, смещение времени утреннего максимума магнитных возмущений на бухте Тихой в дни с сильными магнитными бурями на более поздние часы непосредственно следует

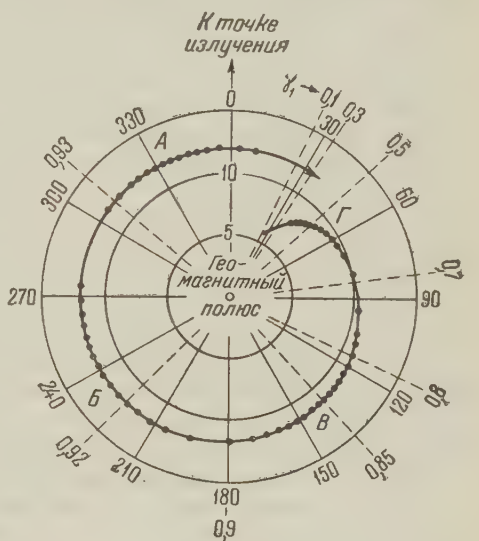


Рис. 2. Линия осаджения положительных корпускул в Арктике $\gamma_1 = -\gamma$ (по Штёрмеру)

из формулы Штёрмера

$$\sin \theta = \sqrt{2 a \gamma_1} \sqrt{mv / Me},$$

где θ — отклонение спирали от полюса при данном значении γ_1 ; m — масса протона; v — скорость; e — заряд; M — магнитный момент Земли; a — радиус Земли; $\gamma_1 = -\gamma$ (γ — постоянная интегрирования в решении уравнений Штёрмера).

Из этой формулы Штёрмера следует, что угловое расстояние отхода спирали от полюса зависит, в частности, и от скорости корпускул. В случае повышения средней скорости протонов в потоке спираль спустится вся к югу и юго-востоку. Это значит, что через Тихую пройдет уже не 4-часовая (по всемирному времени) спираль, характерная для средних условий, а 6—7-часовая, которая при средних условиях проходит северо-западнее Тихой. При статистической обработке данных наблюдений по большому числу бурь это перемещение спирали осаднения проявится в виде смещения времени утреннего максимума возмущений на более поздние часы.

Можно ли объяснить смещение ночного максимума на более ранние часы в дни с большими бурями, если считать, что ночной максимум также обусловлен протонами и лежит на спирали их осаднения. Можно показать, что такое смещение будет происходить за счет изменения значения γ (постоянная интегрирования в решении уравнений Штёрмера) в сторону больших отрицательных значений — до значений $\gamma \cong -1$ и что эти изменения γ сами являются следствием возрастания скоростей корпускул.

Действительно, физический смысл величины γ , как показано Монтгомери⁽⁹⁾ и Митра⁽¹⁰⁾, сводится к следующему. На больших расстояниях от начала координат (от центра Земли) γ представляет собой мгновенное значение момента скорости частицы относительно оси диполя, т. е. $-2\gamma = R\dot{\omega}$, где R — расстояние от Земли до точки и $\dot{\omega}$ — угловая скорость. Можно показать, что $-2\gamma = D \cos \beta$, где $D = R \sin \delta$ и β — угол между направлением скорости частицы и экваториальной плоскостью (δ — угол между проекциями R и v на экваториальную плоскость). Расстояние D выражено здесь в единицах длины Штёрмера. Но $D_{\text{ед. Штёрм}} = D_{\text{см}}/C$, где $C = \sqrt{Me/mv}$. Следовательно, $-2\gamma = D_{\text{см}} \cos \beta \sqrt{mv/Me}$.

Отсюда следует, что с увеличением скорости частицы величина отрицательного значения γ будет иметь своим результатом смещение точки попадания частицы к западу. Это значит, что возмущение будет появляться раньше.

Следует иметь в виду, что ночной максимум в Тихой, если он также связан с вторжением протонов, можно рассматривать как суммарный эффект влияния зон Штёрмера B и B , расположенных, соответственно, на 17- и 23-часовых (по всемирному времени) спиралях осаднения, проходящих южнее Тихой.

Таким образом, изменения скорости протонов в потоке, подходящем к Земле, будут влиять на момент их вторжения в земную атмосферу двояко. Во-первых, с возрастанием скорости протонов спираль осаднения их отходит к юго-востоку, что проявляется в виде смещения утреннего максимума на более поздние часы; во-вторых, возрастание скорости корпускул, изменяя величину значения γ в сторону увеличения ее отрицательного значения, приводит к отклонению протонов к западу, т. е. к более раннему появлению магнитных возмущений.

Теоретически оба эти эффекта изменения скоростей протонов будут проявляться одновременно. Какой эффект будет выражен сильнее — зависит от положения станции. Там, где спирали идут круто, под малыми углами к меридианам (например, бухта Тихая и севернее) больший эффект для утренних возмущений будет вызывать смещение всей спирали осаднения к юго-востоку. Наоборот, для станций, расположенных южнее, где спирали идут почти перпендикулярно к меридианам, большую роль для ночных возмущений будут играть изменения значения γ .

Различное смещение утреннего и ночного максимумов Хоуп⁽¹¹⁾ объясняется разным влиянием изменения наклона полярной области к Солнцу течение суток на время попадания к Земле корпускул, которые в случае утренних возмущений идут по штёрмеровским траекториям под большими углами к полюсу, а для ночных — под малыми.

Многочисленные наблюдения полярных сияний показывают, что в дни большими магнитными бурями и интенсивными полярными сияниями граница последних спускается к югу, а время их появления смещается на более ранние часы. Эти факты могут быть объяснены так же, как в случае смещения утреннего и ночного максимумов в суточном ходе магнитной активности.

Изменением спектра скоростей протонов в дни с большими бурями в сторону повышения скоростей, а вместе с тем изменением спектра значений γ в сторону больших отрицательных значений (до $\gamma \approx -1$) можно объяснить еще один известный факт: с увеличением общей интенсивности магнитного возмущения (в частности, на бухте Тихой) сильнее растет интенсивность ночного максимума. Изменения в спектре скоростей и спектре значений γ в сторону больших значений могут быть таковы, что они наиболее эффективно будут сказываться в участке тех значений γ , при которых наиболее интенсивные вторжения протонов происходят в зонах *B* и *B'*, ответственных за такие возмущения.

Очевидно, что в среднем имеется некоторый спектр скоростей, который, в свою очередь, в какой-то степени определяет спектр значений γ . Появление в конкретные дни активных периодов магнитного возмущения будет определяться, помимо других факторов, наличием подходящих скоростей в полярной области и соответствующими значениями γ . Вторжение протонов по всей спирали осаднения (по 360° долготы) возможно лишь при наличии широкого спектра значений γ (от $-0,1$ до $-1,0$). Длительность активных периодов будет зависеть, в частности, от распределения значений γ по спирали.

Кайзер и Бэллаф⁽¹²⁾ обнаружили, что: а) в суточном ходе частоты полярных сияний по радарным наблюдениям в Джодрэл Бэнк наблюдаются два максимума: в 18—19 и 01—02 час. местного времени и б) истинное движение полярных сияний отражающих областей происходит вдоль геомагнитной параллели, причем скорость его изменяется от 600 м/сек (в среднем) к западу в 16 час. местного времени до 600 м/сек к востоку в 5 час.

Нами⁽⁸⁾ было высказано предположение, что время максимумов частоты появления сияний можно объяснить из существования зон Штёрмера *B* и *B'*. Перемещение сияний к западу вечером и к востоку утром можно, по-видимому, объяснить следующим образом. Из анализа формы спиралей осаднения протонов в Арктике⁽⁴⁾ видно, что фиксированная область (например, область одинаковых γ), находящаяся на спирали, в одни часы суток будет протонить Землю в ее суточном вращении, что будет восприниматься как перемещение ионизированных областей — полярных сияний к востоку, в другие часы будет отставать от вращения Земли, что будет восприниматься как перемещение полярных сияний к западу.

Полученные результаты показывают, что при разработке модели механизма возникновения магнитных возмущений в высоких широтах теория Штёрмера должна занимать одно из главных мест.

Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт

Поступило
4 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Р. Nikolsky, Terr. Magn., 52, № 2, 147 (1947). ² А. П. Никольский, Аркт. инст., 36 (1951). ³ А. П. Никольский, Тр. Аркт. инст., 83 (1956). ⁴ А. П. Никольский, ДАН, 109, № 5, 939 (1956). ⁵ C. Störmer, The Polar Aurora, Oxford, 1955. ⁶ W. H. Bennett, Astroph. J., 127, № 3, 731 (1958). ⁷ Б. Пикельнер, Изв. Крымск. астр. общ., 16, 104 (1956). ⁸ А. П. Никольский, ДАН, 115, № 1, 84 (1957). ⁹ D. J. X. Montgomery, Cosmic Ray Physics, 1959. ¹⁰ С. К. Митра, Верхняя атмосфера, М., 1955. ¹¹ E. R. Hope, Def. Inform. Serv., T 165 R, Canada (1954). ¹² T. R. Kaiser, K. Bullough, Ann. phys., 11, № 3, 279 (1955).

В. С. ИВАНОВА

НОВАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 13 III 1959)

Для установления закономерности усталостного разрушения примем, что работа пластической деформации, затраченная на процесс разрушения образца, при любых напряжениях симметричного цикла, превышающих предел усталости, есть величина постоянная. Если обозначить через N_i число циклов, при котором начинают зарождаться субмикроскопические трещины, то работа разрушения при заданном $\pm \sigma$ выразится так:

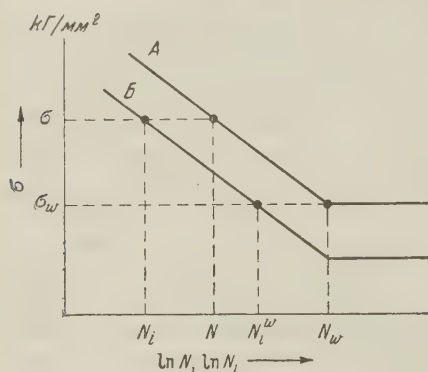


Рис. 1. Диаграмма усталости

$$R_\sigma (N_i' - N_i) = \text{const}, \quad (1)$$

где R_σ — средняя величина работы пластической деформации за один цикл нагружения. Ранее нами было показано ⁽¹⁾, что кривая зависимости σ от N_i (кривая B на рис. 1) подобна кривой Велера (кривая A на рис. 1).

Принимая во внимание, что процесс усталостного разрушения определяется коагуляцией и осаждением вакансий на вершинах субмикроскопических трещин ^(2,3), представляется возможным оценить работу R_σ , исходя из работы, расходуемой на движение дислокаций за $(N - N_i)$ циклов.

Для установления аналитического выражения этой работы необходимо знать зависимость числа источников дислокаций n от величины критического напряжения движения дислокаций. Для этого рассмотрим зависимость n не от абсолютной величины критического напряжения τ , а от отношения его к пределу усталости, т. е. τ/τ_w , приняв при этом в первом приближении экспоненциальный закон распределения источников дислокаций.

Обозначим относительную величину источников дислокаций при $\tau/\tau_w = 1$ через n_w , а при $\tau/\tau_w > 1$ через n_τ . Тогда

$$\frac{n_\tau}{n_w} = \exp \left[\beta \frac{(\tau - \tau_w)}{\tau_w} \right],$$

где β — постоянная, характеризующая величину относительного возрастания n при увеличении τ/τ_w .

Аналогичное выражение имеем для относительного изменения работы за один цикл, т. е.

$$\frac{R_\tau}{R_w} = \exp \left[\beta \frac{(\tau - \tau_w)}{\tau_w} \right]. \quad (2)$$

Выражая эту зависимость через нормальные напряжения и заменяя $R_w = k, \text{const}/R_w = C$, а также учитывая, что при $\sigma = \sigma_w$ $C = N_w - N_i^w$, получим

$$N_w = (N - N_i) \exp [k(\sigma - \sigma_w)] + N_i^w. \quad (3)$$

Здесь N_w — число циклов, при котором кривая усталости выходит на горизонтальный участок (при $\sigma = \sigma_w$); N_i^w — число циклов, соответствующих началу появления субмикроскопических трещин при $\sigma = \sigma_w$; N_i — число циклов, соответствующих началу появления субмикроскопических трещин при напряжении σ (см. рис. 1); коэффициент k — критерий живучести металла, отображающий, в какой мере изменяется долговечность при изменении напряжения на единицу напряжения.

Уравнение (3) можно упростить, если принять во внимание некоторые закономерности усталостного повреждения металлов. Обратимся для этого к диаграмме усталости, представленной на рис. 2, и определим работу пластической деформации за некоторое число циклов N_k при напряжениях σ_k и σ_i . При действии напряжения σ_k за N_k циклов наступает разрушение, а при напряжении σ_i за это же число циклов начинают возникать лишь субмикроскопические трещины. Разность работ пластической деформации (R) при τ_k и τ_i в касательных напряжениях выразится так:

$$R = (\rho_k s_k N_k) b \tau_k - (\rho_i s_i N_k) b \tau_i, \quad (4)$$

где ρ_k — средняя плотность дислокаций и s_k — средний путь пробега дислокаций при напряжении τ_k ; ρ_i и s_i — то же при напряжении τ_i ; b — вектор Бюргера.

Средняя величина пробега дислокаций s должна зависеть, естественно, от плотности дислокаций: чем выше плотность дислокаций, тем больше препятствий на пути их движения и тем короче путь их пробега. Если в первом приближении принять, что средняя длина пробега дислокаций обратно пропорциональна плотности дислокаций, то легко получить, что $s_i \rho_i = s_k \rho_k = f = \text{const}$. Величина f характеризует площадь пробега всех дислокаций за один цикл. За N_k циклов получим $f N_k = F = \text{const}$. Тогда уравнение (4) можно представить в виде

$$R = F b (\tau_k - \tau_i) = \text{const}'$$

или, выражая это уравнение через нормальные напряжения:

$$R = F b (\sigma_k - \sigma_i) = \text{const}'' \quad (5)$$

Площади пробега всех дислокаций за одно и то же число циклов, так же как и вектор Бюргера, у разных металлов различны. Однако для одной и той же группы металлов значения F , так же как и значения b , должны быть близки. Тогда получим, что

$$(\sigma_k - \sigma_i) = \alpha = \text{const}. \quad (6)$$

Иными словами, приходим к выводу, что для одинаковых по своей природе металлов разность между напряжением, вызывающим усталостное разрушение за данное число циклов, и на-

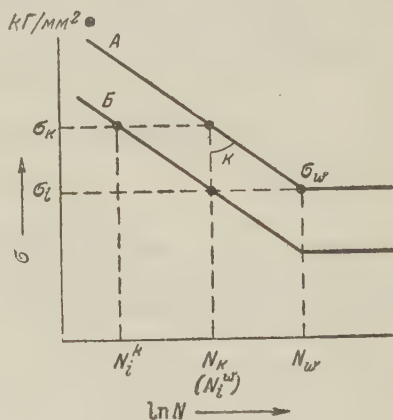


Рис. 2. Диаграмма усталости

пряжением, при котором за это же число циклов начинают зарождаться сумбикроскопические трещины, есть величина постоянная. Назовем эту новую постоянную константой усталости металла.

Используя отмеченную закономерность усталости металлов, обратимся теперь к анализу уравнения (3). Для удобства анализа возьмем такое значение N_k , при котором $\sigma_i = \sigma_w$, как показано на рис. 2. Тогда уравнение (3) (принимая во внимание, что $N_k = N_i^w$) запишется в виде

$$N_w = (N_i^w - N_i^k) \exp(\alpha k) + N_i^w. \quad (3')$$

Но согласно рис. 2

$$N_i^w = N_i^k \exp(\alpha k). \quad (7)$$

Подставив соотношение (7) в уравнение (3'), получим

$$N_w = N_i^w \exp(\alpha k). \quad (8)$$

Иными словами, число циклов N_w , при котором кривая усталости выходит на горизонтальный участок, зависит только от критерия живучести металла k , причем зависи-

мость N_w от k выражается в координатах $k - \ln N_w$ прямой линией.

Для проверки правильности полученного уравнения обратимся к экспериментальным кривым усталости для железа и его сплавов, подсчитав для них значения N_w и k . Коэффициент k рассчитывался как тангенс угла наклона к оси ординат линии усталости, построенной в полупрологифических координатах. Соответствующие данные о зависимости N_w от k при испытании на усталость в условиях изгиба гладких и надрезанных образцов различной формы (плоские, круглые—диаметром до 20 мм) после различной термической и механической обработки (обдувка дробью, об-

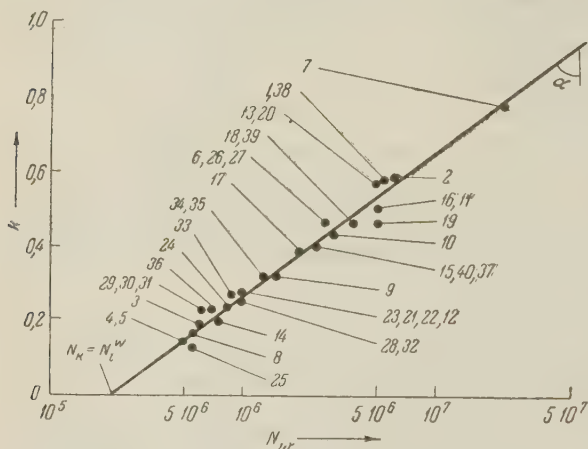


Рис. 3. Зависимость k от N_w для разных марок стали и чугуна. Точки: 1, 2, 3 — сталь 40 (4); 4, 5 — сталь 60С2 (5); 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 — ферритно-перлитный и высокопрочный чугун (6); 13, 14, 15, 16 — сталь ЭИ-257 и ЭИ-69 (7); 17 — литая сталь с 0,16% С (8); 18, 19, 20 — сталь 50 и сталь 15 (9); 21, 22, 23 — сталь с 0,82% С, 0,93% С и 0,55% С (10); 24, 25 — сталь У-8 (11); 26, 27 — сталь с 0,6% С (12); 28, 29 — легированная сталь с 0,44% С и 0,22% С (13); 30, 31, 32 — сталь с 1,2% С, малоуглеродистая сталь с 3,5% Ni и сталь с 0,37% С (14); 33, 34, 35, 36 — сталь 20ХН и 40 ХН (15); 37, 38, 39, 40 — легированная сталь и малоуглеродистая сталь (16)

катка роликами и т. д.) приведены на рис. 3. Из этих данных видно, что зависимость (8) хорошо подтверждается экспериментально. При полученном разбросе точек погрешность при определении предела усталости оказалась равной ± 1 кГ/мм². По углу наклона прямой $k - \ln N_w$ (см. рис. 3) к оси ординат можно определить численное значение величины константы усталости $\sigma_k - \sigma_w = \alpha$ для железа и его сплавов, которая оказалась равной 6,0 кГ/мм² при испытании на изгиб, а значение $N_k = 200\,000$ циклов (при кручении $\alpha = 3$ кГ/мм²). Для другой группы металлов (например для цветных металлов) константы α и N_k будут иметь иные значения.

используя константу усталости металла, можно установить новый критерий усталости $\sigma_k = \sigma_w + \alpha$ или напряжение, которое вызывает разрушение металла за N_k циклов, т. е. предел ограниченной выносливости.

Использование этого нового критерия позволяет:

1. Упростить испытания на усталость, так как для определения σ_w требуется установить значение σ_k по данным испытания лишь небольшого числа образцов, доведенных до разрушения при разных числах циклов. Предел усталости определится как $\sigma_w = \sigma_k - \alpha$.

2. Устанавливать начало повреждения металла (начало появления субмикроскопических трещин). Для этого, зная кривую разрушения, через точку с координатами σ_w и N_k в полулогарифмических координатах проведется прямая, параллельная прямой $\sigma - \ln N$, которая и будет кривой начала повреждения.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР

Поступило
5 III 1959.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

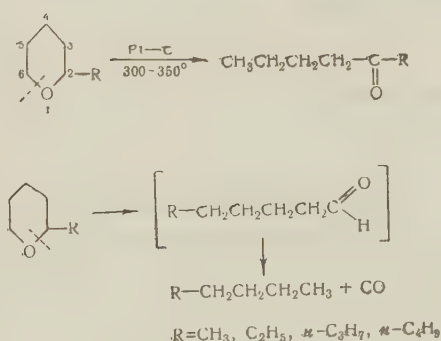
- ¹ В. С. Иванова, ДАН, **119**, № 1 (1958). ² И. А. Одинг, Металловед. и обработка металлов, № 2 (1955). ³ W. A. Wood, International conference of fatigue of Metals, Inst. Mech. Eng. London, 10—14 IX 1956. ⁴ И. В. Кудрявцев, Н. М. Саввина, Г. З. Зайцев, Сборн. Усталостная прочность и остаточные напряжения в стали и чугуне, 1955, стр. 7. ⁵ Е. Т. Котикова, Там же, стр. 23. ⁶ И. В. Кудрявцев, Н. М. Саввина, Там же, стр. 101. ⁷ А. П. Шишкова, Там же, стр. 10. ⁸ D. O. Morris, The Failure of Metals by Fatigue, Melbourne University Press, 1947. ⁹ И. А. Одинг, Вестн. машиностроения, № 1 (1948). ¹⁰ Р. Гаф, Усталость металлов, 1935. ¹¹ А. И. Яцук, Научн. зап. Инст. машиновед. и автоматики АН УССР, № 6 (1957). ¹² М. Кавамото, R. Nishioka, Eng. Kyoto Univ., 17, № 1 (1955). ¹³ И. Д. Рыбасенко, Металловед. и обработка металлов, № 10 (1957). ¹⁴ Г. Ф. Мур, Д. Коммерс, Усталость металла, дерева и бетона, М., 1929. ¹⁵ И. А. Одинг, С. Е. Гуревич, Вестн. машиностр., № 1 (1959). ¹⁶ R. Saeed, La Fatigue des Metaux, Paris, 1943.

И. Ф. БЕЛЬСКИЙ и член-корреспондент АН СССР Н. И. ШУЙКИН

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ δ -ОКИСЕЙ (ТЕТРАГИДРОПИРАНОВ) В АЛИФАТИЧЕСКИЕ КАРБОНИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

До недавнего времени считалось, что γ - и δ -окиси, в отличие от α -окисей, не обладают способностью изомеризоваться с раскрытием цикла в алифатические карбонильные соединения. Однако мы нашли ⁽¹⁾, что γ -окиси (тетрагидрофуран и его гомологи) изомеризуются с раскрытием цикла в паровой фазе на платинированном угле при 250°, превращаясь главным образом в алифатические кетоны. Получающиеся при этом в небольшом количестве (~5—10%) альдегиды легко подвергаются в этих условиях декарбонилированию с образованием алканов.

Можно было ожидать, что и δ -окиси (тетрагидропираны) будут изомеризоваться в карбонильные соединения с открытой цепью в тех условиях, при которых имеет место изомеризация γ -окисей. Действительно, мы нашли, что тетрагидропираны, имеющие алкильный заместитель в α -положении, изомеризуются в паровой фазе на платинированном угле при 300—350° с раскрытием цикла и образованием соответствующих алифатических кетонов, а также алканов:



Во всех случаях кетоны получались с выходами 70—80%, а выходы углеводородов не превышали 20—30%. Это показывает, что преимущественным направлением изомеризации α -алкилтетрагидропиранов является, как и в случае γ -окисей, раскрытие цикла по C—O-связи, наиболее удаленной от бокового алкильного заместителя (связь 1—6). Реакция изомеризации α -алкилтетрагидропиранов протекает так же гладко, как и изомеризация γ -окисей: продуктами реакции являются только кетон и алифатический углеводород. Что касается легкости раскрытия тетрагидропиранового цикла, то здесь также наблюдается аналогия с γ -окисями. Поскольку реакция изомеризации δ -окисей проводилась при более высокой температуре, степень превращения их в алифатические кетоны и альдегиды была выше, чем степень превращения соответствующих γ -окисей, и составляла за один проход над катализатором 50—60%.

Экспериментальная часть

α -Метил, α -этил, α -*n*-пропил и α -*n*-бутилтетрагидропираны были синтезированы по методу Поля ⁽²⁾ и обладали следующими свойствами:

1) α -Метилтетрагидропиран, т. кип. 101—102° (750), d_4^{20} 0,8570; n_D^{20} 1,4187.

2) α -Этилтетрагидропиран, т. кип. 128—129° (752), d_4^{20} 0,8566; n_D^{20} 1,4245;

3) α -*n*-Пропилтетрагидропиран, т. кип. 152—153° (745), d_4^{20} 0,8552; n_D^{20} 1,4290.

4) α -*n*-Бутилтетрагидропиран, т. кип. 176—177° (750), d_4^{20} 0,8570; n_D^{20} 1,4350.

Катализатор — платинированный уголь, содержащий 10% платины, готовился пропитыванием активированного угля раствором платинохлористоводородной кислоты с последующей обработкой формалином и 50% раствором КОН. Перед каждым опытом через катализатор, нагретый до нужной температуры, пропускался водород в течение 2—3 часов. α -Алкилтетрагидропираны подавались на катализатор с объемной скоростью 0,1 час⁻¹ в токе водорода или без него. Полученные жидкие катализаты после высушивания CaCl₂ разгонялись на эффективной колонке. Ниже приведены физические свойства кетонов, образовавшихся при изомеризации α -метил, α -этил, α -*n*-пропил- и α -*n*-бутилтетрагидропиранов, а также температуры плавления их семикарбазонов.

1) Гексанон-2, т. кип. 126—126,5°; d_4^{20} 0,8115; n_D^{20} 1,4018; семикарбазон, т. пл. 120—121°.

2) Гептанон-3, т. кип. 147—147,2°; d_4^{20} 0,8192; n_D^{20} 1,4095; семикарбазон, т. пл. 101°.

3) Октанон-4, т. кип. 166,5°; d_4^{20} 0,8190; n_D^{20} 1,4135; семикарбазон, т. пл. 96°.

4) Нонанон-5, т. кип. 186—187°; d_4^{20} 0,8270; n_D^{20} 1,4200; семикарбазон, т. пл. 89°.

Институт органической химии
им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
18 IV 1959

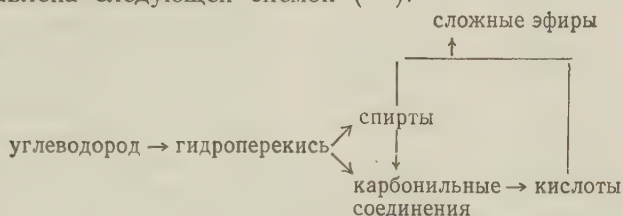
ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. И. Ш у й к и н, И. Ф. Б е л ь с к и й, ДАН, 120, 548 (1958). ² R. P a u l, Bull. Soc. Chim. France, (5), 2, 318 (1935).

Член-корреспондент АН СССР А. Н. БАШКИРОВ, М. М. ПОТАРИН
и В. В. КАМЗОЛКИН

СИНТЕЗ ВЫСШИХ КЕТОНОВ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ СПИРТОВ

В результате работ по изучению механизма жидкофазного окисления парафиновых углеводородов к настоящему времени сложилось представление о стадийном характере этого процесса. Последовательность отдельных стадий окислительных превращений парафиновых углеводородов может быть представлена следующей схемой (¹⁻³):



Имеющиеся в литературе экспериментальные данные (⁴) показывают, что в процессе получения синтетических жирных кислот окислением твердых парафинов, как правило, образуется значительное количество карбонильных соединений. В продуктах окисления высших парафиновых углеводородов в присутствии борной кислоты наряду со вторичными спиртами всегда содержится некоторое количество кетонов (⁵).

Образование карбонильных соединений (см. схему) может протекать, во-первых, в результате распада гидроперекиси (⁶), во-вторых, путем окисления находящихся в реакционной зоне спиртов.

Представляло интерес получить экспериментальные данные о возможности протекания реакции окисления спиртов в условиях, аналогичных условиям жидкофазного окисления углеводородов, а также установить возможность осуществления направленного окисления вторичных спиртов в кетоны.

При проведении настоящего исследования нами были использованы высшие алифатические спирты, полученные на опытно-промышленной установке по методу, разработанному в Академии наук СССР (⁵). Содержание горючих спиртов в указанном продукте составляло около 90 мол. % (⁷). Окислению была подвергнута фракция спиртов, выкипающая в пределах 125—170° при 1 мм рт. ст. (C₁₆—C₁₉) и имеющая гидроксильное число 20,0; карбонильное число 20,0; кислотное число 1,1; эфирное число 3,4; n_D^{20} 0,8486; n_D^{20} 1,4496; т. заст. +8,0°.

Жидкофазное окисление высших спиртов проводилось в аппаратуре и по методикам, описанным нами ранее (⁵). В каждом опыте для окисления брались 65 г указанных спиртов; удельный расход окисляющего газа составлял 1000 л/кг·час (при окислении кислородом — 200 л/кг·час). Было изучено влияние условий проведения реакции окисления высших спиртов (температура, концентрация кислорода в окисляющем газе, продолжительность окисления), а также влияние некоторых добавок на состав образующихся продуктов («оксидата»).

Влияние температуры на процесс окисления высших спиртов было изучено в интервале 120—180° при окислении азотнокислородной смесью, со-

держашей 6,0—6,5 вес. % кислорода, и продолжительности окисления 4 часа (табл. 1).

Как следует из полученных экспериментальных данных, температура реакции является фактором, в сильной степени влияющим на глубину превращения исходных спиртов и состав получающихся продуктов окисления.

Таблица 1

Влияние температуры окисления на степень превращения и состав продуктов окисления высших спиртов

Температура окисления, °С	Анализ оксидата			Количество образовавшихся кислородсодержащих соединений (кетоны и кислоты)		
	кислотное число	эфирное число	карбонильное число	всего, ммоль, г	в том числе, мол. %	
					кислоты	кетоны
120	1,0	0,0	20,2	—	—	—
140	5,5	13,1	51,0	0,89	36,4	63,6
165	39,0	34,5	112,0	2,95	44,4	55,6
180*	30,0	47,0	115,0	3,07	44,7	55,3

* Продолжительность окисления 3,5 часа.

кислорода, в течение 8 час. степень превращения спиртов не превышала 1,5—2,0 мол. %; при окислении кислородом в течение 4 час. степень превращения составляла 12,0—15,0 мол. %.

Проведение реакции окисления спиртов при высоких температурах (особенно в случае высокой концентрации кислорода в окисляющем газе) делает невозможным накопление в оксидате значительного количества карбонильных соединений, по-видимому, вследствие быстрого окисления их в кислоты.

В этих случаях основным продуктом окисления спиртов являются кислоты (свободные и связанные в виде сложных эфиров).

Изучение влияния концентрации кислорода в окисляющей газовой смеси, проводившееся при 140° (продолжительность окисления 4 часа) и при 165° (3 часа) показало, что с увеличением концентрации кислорода в зоне реакции повышается степень превращения исходных спиртов и снижается относительный выход кетонов — доля кетонов в продуктах окисления спиртов (табл. 2).

Скорость реакции окисления, как правило, в сильной степени зависит от концентрации кислорода в окисляющем газе. Чем ниже концентрация кислорода в окисляющем газе, тем больше относительный выход кетонов (особенно при низких температурах (120—140°)). Окисление газовой смесью с высоким содержанием кислорода с целью получения кетонов нерационально, так как в этом случае образуется большое количество кислот.

Таблица 2

Влияние концентрации кислорода в окисляющем газе на степень превращения и состав продуктов окисления высших спиртов

Концентрация кислорода в окисляющем газе (об. %)	Анализ оксидата			Количество образовавшихся кислородсодержащих соединений (кетоны и кислоты)		
	кислотное число	эфирное число	карбонильное число	всего, ммоль, г	в том числе, мол. %	
					кислоты	кетоны

Температура окисления 140°

3,7	2,8	0,0	42,0	0,44	11,0	89,0
6,0	5,5	13,1	51,0	0,89	36,4	63,6
21,0	38,2	33,7	104,0	2,78	46,0	54,0
100,0	94,6	46,0	150,0	4,83	51,8	48,2

Температура окисления 165°

3,7	11,3	19,7	66,0	1,37	39,4	60,6
6,5	23,1	38,8	110,0	2,71	40,7	59,3
21,0	113,0	63,1	130,0	5,11	61,6	38,4

Исследование продуктов окисления спиртов при различном времени проведения реакции (температура 140° окисление воздухом), показало, что увеличением продолжительности окисления изменяется не только степень превращения исходных спиртов, но и состав получившихся при этом продуктов (табл. 3, рис. 1).

Увеличение продолжительности окисления приводит к увеличению степени превращения исходных спиртов и снижению относительного выхода кетонов и за счет повышения выхода кислот и сложных эфиров. При этом доля кетонов в продуктах реакции падает с 88 до 45 мол. %.

Полученные экспериментальные данные позволили выбрать режим окисления спиртов, обеспечивающий выход кетонов до 10 мол. % на превращенные спирты при степени превращения исходных спиртов 40—55 мол. %. Такой режим окисления характеризуется следующими параметрами: температура 165° , содержание кислорода в окисляющей газовой смеси 6,0—6,5%, удельный расход последней 1000 л/кг·час, продолжительность окисления 3 часа. При меньшей степени превращения исходных спиртов может быть получен более высокий выход кетонов.

Изучение процесса окисления спиртов в присутствии различных добавок (соли металлов переменной валентности) показало, что их действие на процесс окисления спиртов по своему характеру аналогично действию их на процесс окисления углеводов. Например, введение солей марганца в зону реакции приводит к значительному увеличению выхода кислот. Изученные нами добавки (соли Co, Ni, Mn, Fe, Cr, Cu, Sn) оказывают влияние на скорость окисления спиртов. Однако ни одна из них не проявляет избирательного действия на реакцию окисления спиртов до кетонов.

Введение в зону реакции пентакарбонила железа приводит к резкому торможению процесса окисления, что указывает на радикальный характер изучаемой реакции.

В изученных нами условиях вторичные спирты окисляются в кетоны со значительной скоростью. Это является экспериментальным подтверждением того, что образующиеся при жидкофазном окислении углеводов вторичные спирты могут подвергаться дальнейшим окислительным превращениям, давая карбонильные соединения, которые в свою очередь могут окисляться в кислоты. Эти данные хорошо согласуются с результатами исследований по влиянию борной кислоты и борного ангидрида на процесс жидкофазного окисления парафиновых углеводов (8).

Таблица 3

Влияние продолжительности окисления на степень превращения и состав продуктов окисления высших спиртов

Продолжительность окисления, час.	Анализ оксидата			Количество образовавшихся кислородсодержащих соединений (кетоны и кислоты)		
	кислотное число	эфирное число	карбонильное число	всего, ммоль/г	в том числе, мол. %	
					кислоты	кетоны
1	0,6	0,0	24,8	0,10	11,5	88,5
2	12,0	1,9	54,3	0,86	19,0	71,0
3	25,0	22,7	102,0	2,32	16,8	63,2
4	38,2	33,7	104,0	2,79	16,0	54,0
6	69,0	61,2	128,0	4,25	15,0	54,0

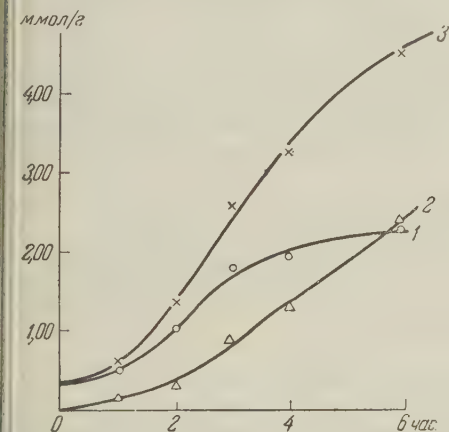
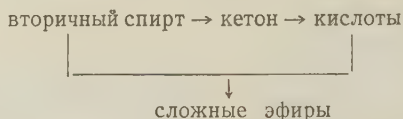


Рис. 1. Кинетика накопления кислородсодержащих соединений (температура 140° , окисление воздухом). 1 — карбонильные соединения, 2 — кислоты (свободные и связанные), 3 — общее содержание кислородсодержащих соединений

В изученных нами условиях вторичные спирты окисляются в кетоны со значительной скоростью. Это является экспериментальным подтверждением того, что образующиеся при жидкофазном окислении углеводов вторичные спирты могут подвергаться дальнейшим окислительным превращениям, давая карбонильные соединения, которые в свою очередь могут окисляться в кислоты. Эти данные хорошо согласуются с результатами исследований по влиянию борной кислоты и борного ангидрида на процесс жидкофазного окисления парафиновых углеводов (8).

Наличие сложных эфиров в продуктах окисления спиртов указывает на возможность протекания реакции этерификации исходных спиртов образующимися в ходе окисления кислотами. Изложенный выше цикл окислительных превращений вторичных спиртов может быть представлен схемой:



Кривая накопления карбонильных соединений (рис. 1) показывает, что по достижении определенной концентрации кетонов в зоне реакции дальнейшего их накопления не происходит. При этом, по-видимому, в реакционной зоне устанавливается динамическое равновесие, при котором скорость дальнейшего превращения кетонов становится равной скорости их образования.

С целью выделения карбонильных соединений, образующихся при окислении вторичных спиртов, оксидат был подвергнут омылению 0,5 *N* водным раствором щелочи. Раствор солей жирных кислот был отделен от масляного слоя и экстрагирован эфиром. После отгонки эфира полученный продукт, состоящий из смеси карбонильных соединений и спиртов, разделялся боратым методом. Спирты, содержащиеся в указанном выше продукте, этерифицировались борной кислотой; полученные борнокислые эфиры спиртов отделялись от карбонильных соединений путем отгонки последних в вакууме. Дистиллат, являющийся смесью кетонов (реакция на альдегиды с фуксинсернистой кислотой была отрицательной), представлял собой лимонно-желтую жидкость, характеризующуюся следующими показателями: карбонильное число 200,0; кислотное и гидроксильное числа равны 0, эфирное число 4,2; d_4^{20} 0,8420; n_D^{20} 1,4441; $t.$ заст. $+10,4^\circ$.

В итоге работы показано, что методом жидкофазного окисления вторичных спиртов могут быть получены высшие кетоны. Найденны условия направленного окисления высших вторичных спиртов в кетоны, обеспечивающие выход последних около 60 мол. % на превращенные спирты (при степени превращения 40—45 мол. %).

Высшие кетоны могут быть так же получены путем дегидрирования вторичных спиртов на соответствующих катализаторах. Экспериментальные данные по этому вопросу будут опубликованы нами в ближайшее время.

Институт нефтехимического синтеза
Академии наук СССР

Поступило
16 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

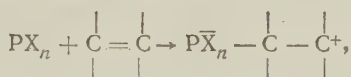
- ¹ Н. Н. Семенов, О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности, Изд. АН СССР, 1958.
- ² Л. С. Вартамян, З. К. Майзус, Н. М. Эмануэль, ЖФХ, 30, 862 (1956).
- ³ В. К. Цыковский, Журн. прикл. хим., 31, 440 (1958).
- ⁴ Н. К. Маньковская, Т. В. Тютюнникова, Маслoбoйная и жировая пром., № 5, 15, (1952).
- ⁵ А. Н. Башкиров, Хим. наука и пром., 1, 273 (1956).
- ⁶ К. И. Иванов, Промежуточные продукты и промежуточные реакции автоокисления углеводов, М.—Л., 1949.
- ⁷ А. Н. Башкиров, В. В. Камзолкин, К. М. Сокова, Т. П. Андреева, ДАН, 118, 149 (1958).
- ⁸ А. Н. Башкиров, В. В. Камзолкин, М. Мартынес, Тр. Инст. нефти АН СССР, 12, 425 (1958).

В. Р. ЛОНГВОРТ, П. Г. ПЛЕШ и П. П. РУТЕРФОРД

МЕХАНИЗМ КАТИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГАЛОИДОМЕТАЛЛОВ

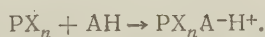
(Представлено академиком С. С. Медведевым 14 IV 1959)

По вопросу о катионной полимеризации олефинов под влиянием галоидометаллов до последнего времени существовали две различные точки зрения. По первой теории, предложенной Гунтером и Йохе (¹), катализ протекает в результате образования поляризованного комплекса галоидометалла с олефином:



причем образованный таким путем карбониевый ион инициирует цепную реакцию.

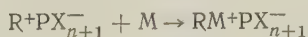
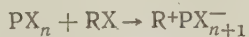
Впоследствии было замечено, что в растворителях с низкой диэлектрической постоянной (углеводороды и тетрахлорметан) добавки одного галоидометалла сами по себе не могут вызвать ни полимеризации (²), ни алкилирования (³), ни изомеризаций (⁴), а необходимо третье вещество, называемое сокатализатором. Самым обыкновенным и на самом деле вездесущим сокатализатором является вода; как сокатализаторы действуют также спирты (⁵), органические кислоты (^{5, 6}) и нитросоединения (⁷). Каталитические свойства каждого из них можно приписать действию комплексной протонной кислоты PX_nA-H^+ :



Карбониевый ион образуется в результате перемещения протона от комплексной кислоты к олефину:



Карбониевый ион инициирует полимеризацию, и растущий конец полимера состоит из ионной пары. Менее ясным было положение с реакциями галоидалкильных растворителях. Ранние исследования привели к предположению, что в этих реакциях добавка воды не производит почти никакого эффекта. Это позволило Пепперу (⁸) предположить, что самый галоидалкильный растворитель действует как сокатализатор:



Опыты, проведенные одним из нас, по-видимому, подтверждали это по отношению к некоторым галоидалкилам и к тому же показали, что, по крайней мере, в системе стирол — $TiCl_4-(CH_2Cl)_2$, добавка воды ускоряет реакцию (⁹). Дополнительные и гораздо более убедительные доказательства о сокаталитическом действии некоторых галоидалкилов были даны Калкломом и Дентоном. Они показали, что по отношению к системе стирол — $SnCl_4, (CH_2Cl)_2$ и трет.- C_4H_9Cl действуют как сокатализаторы, но только в растворителях с диэлектрической постоянной около семи или больше (¹⁰).

До публикации работ Калклофа и Дентона теория непосредственного инициирования, предложенная Гунтером и Йохе, была снова выдвинута Гантмахером и Медведевым, которые, однако, ограничили ее растворителями с умеренно высокой диэлектрической постоянной (¹¹). Они утверждали, что в таких растворителях не нужно ни протонного, ни галоидалкильного сокатализатора. В результате исследований Калклофа и Дентона это заключение кажется крайне невероятным, хотя оно не опровергается вполне.

Важно отдать себе отчет в том, что в одной и той же системе могут сосуществовать несколько типов инициирования: даже если бы в некоторых системах сокаталитическое действие галоидалкилов было доказано, это не исключало бы возможности совместного непосредственного инициирования по механизму, предложенному Гунтером и Йохе, Гантмахером и Медведевым.

Однако наши исследования представляют теперь недвусмысленные доказательства того, что теория Гунтера и Йохе в модификации Гантмахера и Медведева неосновательна по отношению к системе $\text{CH}_2\text{Cl}_2 - \text{TiCl}_4 - \text{H}_2\text{O}$ со стиролом или изобутиленом. Мы разработали аппаратуру, в которой количество остаточной воды в исходной навеске реакционной смеси (каждая по 100 мл) может быть снижено до 10^{-5} г-молей (¹²). Применяя CH_2Cl_2 как растворитель и TiCl_4 как катализатор, мы нашли, что изобутилен претерпевает полимеризацию до степени, строго пропорциональной количеству наличной воды, — до известной концентрации воды, при которой достигается стопроцентная глубина полимеризации. При данной концентрации воды глубина увеличивается с понижением температуры. В случае прекращения полимеризации из-за недостатка воды возможно снова инициировать ее добавками воды, но не добавками TiCl_4 . Стирол же реагирует совсем иначе: как бы мала ни была концентрация воды, реакция всегда продолжается до стопроцентной глубины.

Таким образом, наши опыты с изобутиленом показали, что по отношению к этому мономеру теория Гантмахера и Медведева неприменима. Они также показали, что по отношению к изобутилену CH_2Cl_2 не является сокатализатором с TiCl_4 . Однако еще казалось возможным, что полимеризация стирола при наименьшей возможной концентрации воды объясняется не наличием остаточной воды, а сокаталитическим действием растворителя или непосредственным инициированием по механизму Гантмахера и Медведева. Но так как мы установили, что молекулярный вес не зависит ни от концентрации воды, ни от концентрации TiCl_4 и скорость полимеризации при малой концентрации воды не зависит от концентрации TiCl_4 эти альтернативы казались маловероятными.

Мы окончательно решили этот вопрос следующим образом: в ряде опытов при обстоятельствах крайней сухости проводилась полимеризация изобутилена с TiCl_4 . При этом лишь незначительная часть изобутилена претерпевала полимеризацию, причем остаточная вода была поглощена и реакция прекратилась. После того как был добавлен сухой стирол, последовала дальнейшая слабая реакция, которая прекратилась через несколько секунд. Эта реакция, по-видимому, произошла в результате наличия незначительного количества воды в стироле. Когда стало несомненным, что полимеризация прекратилась, мы добавили к системе воду в количестве, достаточном для того, чтобы довести реакцию до стопроцентной глубины. При этом произошла быстрая полимеризация, по окончании которой получилась полная сополимеризация стирола с изобутиленом. Некоторые типичные результаты приведены в табл. 1. Они дают неоспоримые доказательства того, что в растворителе CH_2Cl_2 ни изобутилен, ни стирол не могут полимеризоваться с одним TiCl_4 , и что поэтому, по крайней мере в этой системе, растворитель не действует как сокатализатор, и непосредственного инициирования под влиянием одного TiCl_4 , постулированного Гантмахером и Медведевым, не происходит.

Температура, °C	Концентрация $TiCl_4$, мол/л	Концентрация изобутилена, мол/л	Глубина полимеризации, %	Концентрация стирола, мол/л	Глубина полимеризации, %	Глубина полимеризации при добавках воды, %
-14,3	0,00220	0,0893	6,4	0,0685	8,5	85,0
-29,1	0,00225	0,0912	15,5	0,0560	15,1	69,4

Примечания. 1) Глубина полимеризации определялась в процентах по отношению к количеству граммолекул обоих добавленных мономеров. 2) Время между началом полимеризации изобутилена и добавлением стирола около 3 мин., между добавлением стирола и добавлением воды — около 5 мин.

Кинетические доводы, приведенные этими авторами в пользу своей теории, не имеют решающего значения. Положенное ими в основу предположение об «устойчивом состоянии» далеко не всегда является действительным по отношению к катионным полимеризациям. Самостоятельных доказательств существования различных типов инициирования ими не дано. Не вдаваясь в подробные обсуждения, мы хотели бы указать только на то, что при одинаковых обстоятельствах ($CH_2Cl_2 - TiCl_4 - H_2O$, — температура от -30 до -95°) начальная скорость полимеризации изобутилена пропорциональна концентрации мономера, между тем как начальная скорость полимеризации стирола пропорциональна квадрату концентрации мономера, поэтому один и тот же механизм не может действовать в реакциях обоими мономерами (¹³). Кроме того, в той самой системе, в которой механизм Гантмахера и Медведева мог казаться нам более вероятным (т. е. стирол — $SnCl_4$ — нитробензол), оказывается, что начальная скорость полимеризации пропорциональна концентрации мономера, а не ее квадрату, как предсказали Гантмахер и Медведев, и что, кроме того, она зависит от наличия воды. Подробное изложение наших данных будет скоро опубликовано в другом месте. Мы выражаем благодарность Канадской Полимер-корпорации и «Эссо» — исследовательской корпорации за предоставление средств, которые сделали возможным выполнение этой работы, и г. Форсайту за его перевод доклада на русский язык.

Отдел химии
Норт-Стаффордширского университетского колледжа
Кил, Стаффордшир, Англия

Поступило
13 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. H. Hunter, R. V. Yohe, J. Am. Chem. Soc., **55**, 1248 (1933).
- ² P. H. Plesch, M. Polanyi, H. A. Skinner, J. Chem. Soc., **1947**, p. 257;
- ³ G. Evans, G. W. Meadows, Trans. Farad. Soc., **46**, 327 (1950); Cationic Polymerisation and Related Complexes. Ed. P. H. Plesch, Heffer and Sons, Cambridge, 1953;
- ⁴ P. Clark, p. 99; D. S. Brackman, P. H. Plesch, J. Chem. Soc., **1952**, p. 2188;
- ⁵ 1958, p. 3563. ⁶ L. Schmerling, J. Am. Chem. Soc., **67**, 1778 (1945). ⁷ H. Pines, R. C. Wakher, J. Am. Chem. Soc., **68**, 595 (1946); H. S. Bloch, H. Pines, L. Schmerling, J. Am. Chem. Soc., **68**, 153 (1946); O. Grummitt et al., J. Am. Chem. Soc., **67**, 910 (1945). ⁸ A. G. Evans, M. Polanyi, J. Chem. Soc., **1947**, p. 252;
- ⁹ G. Evans, G. W. Meadows, J. Polym. Sci., **4**, 359 (1949). ¹⁰ P. H. Plesch, J. Chem. Soc., **1950**, p. 543. ¹¹ Cationic Polymerisation and Related Complexes, Ed. P. H. Plesch, 1953, K. E. Russell p. 114. ¹² D. C. Pepper, Trans. Farad. Soc., **45**, 404 (1949).
- ¹³ P. H. Plesch, J. Chem. Soc., **1953**, p. 1653. ¹⁴ R. O. Colclough, E. S. Dainton, Trans. Farad. Soc., **54**, 886 (1958). ¹⁵ A. P. Гантмахер, Е. С. Медведев, ДАН, **106**, 1031 (1956). ¹⁶ R. H. Biddulph, P. H. Plesch, J. Chem. and Ind. (London) (в печати). ¹⁷ R. H. Biddulph, W. R. Longworth, P. H. Plesch, P. P. Rutherford, Международная конференция по макромолекулам, Висбаден, 1959 (в печати).

А. Р. ГАНТМАХЕР, академик С. С. МЕДВЕДЁВ и Е. Б. ЛЮДВИГ

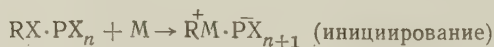
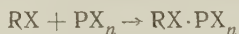
К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ КАТИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ

Механизм инициирования карбониевой полимеризации в присутствии галогенидов металлов исследовался многими авторами. В настоящее время существуют 2 различные трактовки механизма образования первичного карбониевого иона в этих процессах. Согласно одной из них, катионная полимеризация в присутствии галогенидов металлов не может протекать без добавок различных сокатализаторов, согласно второй — катионная полимеризация в определенных условиях может протекать и без добавок сокатализатора. При этом вопрос о природе добавок сокатализатора с развитием работ в этой области претерпел значительную эволюцию.

Плеш, Скипер, Поляни, Эванс, Мидов (^{1,2,3}), изучавшие катионную полимеризацию изобутилена в жидкости и в растворе гексана с катализаторами $TiCl_4$, BF_3 , установили, что полимеризация не имеет места без наличия протонсодержащих добавок.

На основании полученных результатов было сделано заключение, что инициаторами катионной полимеризации всегда являются протонсодержащие кислоты типа $HV \cdot PX_n$ (HV — сокатализатор, PX_n — галогенид металла). Эти опыты были поставлены в условиях низких температур в средах с низкой диэлектрической постоянной. Однако полученные нами результаты по полимеризации изопрена и стирола в присутствии $SnCl_4$ показали, что с повышением температуры и диэлектрической постоянной среды катионная полимеризация может протекать и без добавок сокатализатора (⁴).

Установленная нами возможность протекания полимеризации в растворителях: галоидалкилах, дихлорэтане без добавок протонсодержащего сокатализатора (^{7, 8, 11}) — была в дальнейшем подтверждена работами Плеша (⁵), Кальклофа и Дейнтонна (⁶). Однако эти авторы, исходя из того, что процесс катионной полимеризации должен протекать только при участии сокатализатора, считают, что в этом случае роль сокатализатора выполняет растворитель, согласно следующей схеме:



где RX — галоидалкил, M — мономер, PX_n — галогенид металла.

Из этой схемы следует, что реакция обрыва цепей в таких растворителях как хлористый этил и дихлорэтан с катализаторами $TiCl_4$, $SnCl_4$ не должна зависеть от того, проводится ли процесс в присутствии HCl или без него, так как карбониевый ион в том или другом случае находится в поле одного и того же противоиона.

Это противоречит результатам наших исследований, в которых было показано, что добавки HCl снижают молекулярный вес полимеров, образо-

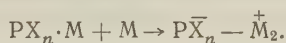
вшихся при проведении полимеризации в галоидалкильных и других растворителях (7). При этом влияние оказывают только те молекулы HCl, которые связаны с катализаторами.

Эти данные, а также результаты, полученные нами по кинетике раздельной и совместной полимеризации различных мономеров (8, 9, 10, 11), привели нас к заключению, что в галоидалкильных растворителях катионная полимеризация может протекать непосредственно под влиянием апротонных кислот без участия соединений со специфической функцией сокатализатора.

В одной из последних работ Лонгворт, Плеш и Рутерфорд (12) при исследовании полимеризации изобутилена и стирола в дихлорметане с $TiCl_4$ пришли к заключению, что в этих системах полимеризация протекает только в присутствии добавки воды.

Однако, как указывают эти авторы, в предыдущей работе Плеша (5), также в работе Калькклофа и Дейнтонна (6), было показано, что в дихлорметане полимеризация стирола с галогенидами металлов может протекать без добавок протонсодержащих сокатализаторов. При этом Лонгворт, Плеш и Рутерфорд (12) считают, что данные по кинетике полимеризации в этих системах не опровергают возможности протекания в них инициирования без участия сокатализатора, так как даже если бы в некоторых системах сокаталитическое действие растворителя было доказано, это не исключает возможности одновременного протекания инициирования путем взаимодействия мономера с катализатором без участия сокатализатора.

Реакция инициирования в системе мономер — катализатор, по-видимому, протекает через образование π -комплекса катализатора с мономером. Исходя из акцепторно-донорных свойств молекул катализатора и мономера, также на основании данных, полученных нами по кинетике совместной полимеризации (10, 11), мы предполагаем, что в растворе мономера катализатор находится в виде его комплекса с мономером. Реакция инициирования осуществляется при взаимодействии этого комплекса с мономером (8, 13):



Аналогичная точка зрения на механизм инициирования без добавок сокатализатора представлена в работах Окамура и Хигашимура (14).

Образование π -комплексов ненасыщенных соединений с четыреххлоридом олова на примере циклогексена недавно было доказано Терениным, Филимоновым и Быстрым методом инфракрасной спектроскопии (15).

Было установлено, что частота двойной связи в циклогексене при взаимодействии его π -электронов со $SnCl_4$ снижается приблизительно на $5-125\text{ см}^{-1}$.

Наличие π -комплексов ненасыщенных соединений со $SnCl_4$ следует также из данных, полученных нами при исследовании кинетики совместной полимеризации стирола в присутствии малых добавок более активных мономеров — α -метилстирола и изобутилена (11).

Было показано, что небольшие добавки α -метилстирола или изобутилена (~ 0,02 молярной доли к стиролу) резко увеличивают скорость инициирования полимеризации в хлористом этиле с катализатором $SnCl_4$.

Эти данные указывают на наличие избирательного комплексобразования более активных мономеров α -метилстирола и изобутилена с катализатором, что обуславливает резкое возрастание скорости инициирования в этих системах.

Было установлено (11), что эти эффекты тормозятся добавками H_2O и HCl , которые сами образуют прочные комплексы с $SnCl_4$, вследствие чего образование π -комплексов мономеров с катализатором в этих условиях не имеет места.

Следует отметить, что некоторые авторы при исследовании катионной полимеризации стирола с $SnCl_4$ в различных полярных растворителях (16, 7, 14, 6) наблюдали индукционные периоды, в течение которых катионная полимеризация не имела места.

Окамура ⁽¹⁴⁾ и сотрудники считают, что наблюдавшаяся ими обратная пропорциональность между величиной периода индукции и концентрациями катализатора и мономера обусловлена пониженной скоростью образования комплексов мономер — катализатор в малополярных растворителях.

В пользу такой трактовки говорят и наши данные, согласно которым индукционный период при полимеризации α -метилстирола в CCl_4 с SnCl_4 практически отсутствует (концентрация α -метилстирола 2,5 мол/л, SnCl_4 0,006 мол/л, температура 0°C), в то время как стирол в тех же условиях полимеризуется со значительным индукционным периодом.

Эти данные также указывают на то, что α -метилстирол является лучшим комплексообразователем с SnCl_4 , чем стирол, вследствие чего даже в неполярном растворителе образование комплексов SnCl_4 с α -метилстиролом протекает со значительной скоростью.

Из приведенных результатов следует, что скорость образования π -комплексов катализатора с мономером существенно зависит от полярности среды.

Интересно отметить, что роль различных добавок как сокатализаторов также резко зависит от полярных свойств среды.

Нами было показано, что добавки HCl , повышающие скорость полимеризации стирола в хлористом этиле с катализатором SnCl_4 , снижают скорость полимеризации при проведении полимеризации с тем же катализатором в менее полярном циклогексане.

Из данных Кальклофа и Дейнтона ⁽⁶⁾ следует, что трет.-бутилхлорид, резко ускоряющий полимеризацию стирола с катализатором SnCl_4 в нитробензоле (где без добавок сокатализатора полимеризация протекает с ничтожной скоростью), не является сокатализатором при полимеризации стирола в CCl_4 . Следовательно, данные о том, что определенная добавка является сокатализатором в данном растворителе (например, нитробензоле), не являются доказательством ее сокаталитического действия в любом другом растворителе.

Весьма вероятно, что роль сокатализаторов в неполярных растворителях заключается не только в образовании комплексов с катализатором, которые ускоряют полимеризацию, но также и в том, что они могут способствовать образованию ионной пары путем сольватации комплекса мономер — катализатор. При этом сольватирующую роль могут выполнять как сами добавки, так и их комплексы с катализатором.

Возможно, что это является одной из причин ускоряющего действия добавок, а также отмеченной выше избирательности сокатализаторов в неполярных растворителях. Однако эти предположения требуют дальнейшей экспериментальной проверки.

Лонгворт, Плеш и Рутерфорд ⁽¹²⁾ считают, что система стирол — нитробензол — SnCl_4 особенно благоприятна для протекания полимеризации без добавок сокатализатора.

Отсутствие полимеризации стирола в этой системе, так же как и зависимость начальной скорости от первой степени концентрации стирола в присутствии сокатализатора ⁽⁶⁾, согласно мнению этих авторов, является опровержением представлений о возможности протекания полимеризации с галогенидами металлов без добавок сокатализатора.

Однако в нитробензоле растворитель сам может образовывать комплексы с SnCl_4 *, неактивные при полимеризации стирола, вследствие чего комплексообразование стирола с катализатором тут практически не имеет места.

Более активные комплексообразователи — вода и трет.-бутилхлорид ⁽⁶⁾ — вытесняют растворитель из его комплексов с катализатором и образуют комплексы с SnCl_4 , активные в иницировании полимеризации.

* Способность нитросоединений к образованию комплексов с SnCl_4 следует из данных Расуелла ⁽¹⁷⁾.

При наличии сокатализатора в относительно полярном растворителе — нитробензоле, в согласии с механизмом, предложенным Калькклофом и Дейнтоном⁽⁶⁾, скорость полимеризации должна быть пропорциональна концентрации мономера в первой степени, так как тут образование ионной пары может протекать без участия мономера.

Таким образом, то обстоятельство, что в некоторых системах полимеризация не протекает без добавок сокатализатора, обусловлено специфическими особенностями этих систем и является одним из частных случаев проявления комплексной природы процесса инициирования в присутствии галогенидов металлов, ведущего к возникновению карбониевого иона и развитию катионной полимеризации.

Поступило
20 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. H. Plesch, M. Polany, H. A. Skinner, J. Chem. Soc., 1947, 257,
² A. G. Evans, G. W. Meadows, Trans. Farad. Soc., 46, 327 (1950). ³ P. H. Plesch, J. Chem. Soc., 1950, 543. ⁴ А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев, Т. Э. Липатова, ДАН, 86, 1109 (1952). ⁵ P. H. Plesch, J. Chem. Soc., 1953, 1653, 1659, 1663. ⁶ R. O. Colclough, E. S. Dainton, Trans. Farad. Soc., 54, 886 (1958). ⁷ А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев, ЖФХ, 25, 1328 (1951), ⁸ А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев, ЖФХ, 23, 516 (1949). ⁹ А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев, ЖФХ, 26, 175 (1952). ¹⁰ Т. Э. Липатова, А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев, ДАН, 100, 925 (1955). ¹¹ Е. Б. Лудвиг, А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев, ДАН, 119, 90 (1958). ¹² Б. П. Лонгворт, П. Г. Плеш, П. П. Рутерфорд, ДАН, 127, № 1 (1959). ¹³ А. Р. Гантмахер, С. С. Медведев, ДАН, 116, 1031 (1956). ¹⁴ S. Okamura, T. Higashimura, J. Pol. Sci., 21, 289 (1956). ¹⁵ А. Теренин, В. Филимонов, Д. Быстров, Оптика и спектроскопия, 3, 480 (1957). ¹⁶ G. Williams, J. Chem. Soc., 1938, 1046. ¹⁷ K. E. Russell, Cationic polymerisation and related complexes, N. Y., 1953, p. 114.

Н. А. ИЗМАЙЛОВ

ЕДИНАЯ ШКАЛА КИСЛОТНОСТИ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 28 II 1959)

При оценке кислотности неводных растворов возникает необходимость сравнения кислотности растворов в одном и том же неводном растворителе и в различных растворителях.

Определение относительной кислотности в пределах одного неводного растворителя не отличается принципиально от определения рН в водных растворах. Величина рН_p в неводных растворах определяется отрицательным логарифмом активности ионов лиония МН⁺ данного растворителя:

$$\text{pH}_p = -\lg a_{\text{МН}^+}^* = -\lg m_{\text{МН}^+} \gamma_{\text{МН}^+}^* \quad (1)$$

В этом уравнении активность $a_{\text{МН}^+}^*$ и концентрационный коэффициент активности $\gamma_{\text{МН}^+}^*$ отнесены к бесконечно разбавленному раствору в данном неводном растворителе. В связи с различными ионными произведениями протяженность шкал рН_p в неводных растворителях различна (см. рис. 1), и мы отмечаем специфическую шкалу кислотности в неводных растворах индексом рН_p, который указывает на рН нейтрального раствора.

Измерения величины рН в неводных растворах могут быть произведены так же, как в воде, но против стандартного раствора с известным рН_p в том же неводном растворителе. Стандартизацию шкал рН_p в неводных и смешанных растворах возможно основывать на концентрационных коэффициентах активности γ^* ионов хлористого водорода⁽²⁾.

Сравнение кислотности в различных растворителях, другими словами, приведение шкал рН_p к единому началу отсчета, отличается принципиально от сравнения кислотности в пределах одного растворителя, так как в этом случае приходится сравнивать между собой кислотность, созданную различными ионами лиония. Принципиально, как было показано еще Бренстедом⁽³⁾, единая кислотность растворов однозначно определяется активностью протонов в растворе. Для оценки единой кислотности следует не только определить активность (концентрацию) ионов лиония, но и установить относительную активность протонов в различных ионах лиония. При этом, как было показано нами, в качестве единого стандартного состояния удобно выбрать активность протонов в бесконечно разбавленном водном растворе. Таким образом:

$$\text{pA} = -\lg a_{\text{H}^+} = -\lg a_{\text{МН}^+}^* - \lg \gamma_{\text{ОН}^+} = \text{pH}_p - \lg \gamma_{\text{ОН}^+} \quad (2)$$

В этом выражении a_{H^+} — активность и $\gamma_{\text{ОН}^+}$ — единый нулевой коэффициент активности протонов, отнесенные к бесконечно разбавленному водному раствору в качестве стандартного состояния. Величина коэффициента активности $\gamma_{\text{ОН}^+}$ определяется изменением энергии (изобарного потенциала) протонов при их переносе из бесконечно разбавленного неводного раствора в бесконечно разбавленный водный раствор. Эта энергия определяется разностью в химических энергиях сольватации $A_{x_{\text{H}^+}}$ протонов в воде и в неводном растворителе.

$$\lg \gamma_{\text{ОН}^+} = \frac{A_{x_{\text{H}^+} \text{H}_2\text{O}} - A_{x_{\text{H}^+} \text{M}}}{2,3 RT} = \frac{\Delta A_{x_{\text{МН}^+}}}{2,3 RT} \quad (3)$$

В связи с тем, что данные о величинах $\gamma_{\text{он}+}$ до последнего времени отсутствовали, был сделан ряд недостаточно надежных предложений ⁽⁴⁾ для оценки кислотности неводных растворов, минуя решение вопроса о величине $\Delta A_{\text{хН}+}$ протонов. Гамметом была предложена функция H_0 ,

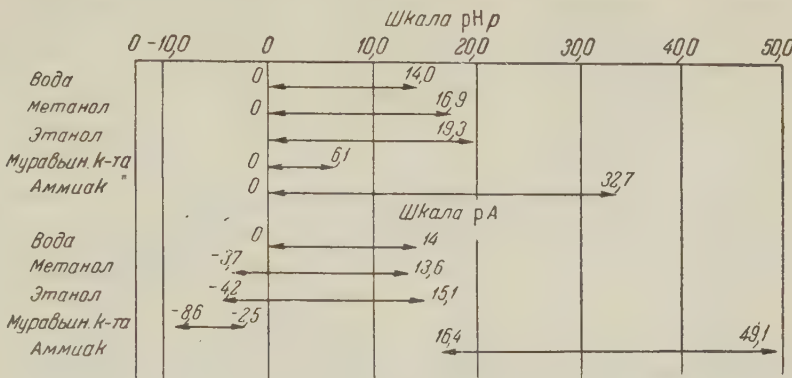


Рис. 1. Сопоставление шкал кислотности рН_р и рА

Дварценбахом ⁽⁶⁾ — функция $H_{(-)}$. Однако легко показать, что обе эти функции в действительности не передают единой кислотности, так как они осложнены единичными нулевыми коэффициентами активности ионов и молекул индикаторов

$$H_0 = \lg a_{\text{Н}+} + \lg \frac{\gamma_{\text{ОВН}+}}{\gamma_{\text{ОВ}}};$$

$$H_{(-)} = \lg a_{\text{Н}+} + \lg \frac{\gamma_{\text{ОНА}}}{\gamma_{\text{ОА}^-}}.$$

В. А. Плесков ⁽⁷⁾ для создания единой шкалы кислотности предложил принять неизменным потенциал рублиевого электрода во всех растворителях и оценивать изменение кислотности по изменению потенциала водородного электрода, измеренного в цепи с рублиевым электродом.

Штрелов сделал попытку уточнить предложение Плескова ⁽⁸⁾. Для этого он рассчитал на основании уравнения Борна ⁽⁹⁾ измерение энергии иона рубидия при переносе его из водного раствора в неводный. Метод расчета и полученные им величины изменения кислотности мало надежны.

Мы предложили для оценки относительного положения шкал рН_р воспользоваться единичными нулевыми коэффициентами активности хлористого водорода ⁽¹⁾. Это предложение базировалось на практическом постоянстве величин $\gamma_{\text{О}}^{\pm}$ сильных кислот, которое указывало, что величина $\lg \gamma_{\text{О}}^{\pm}$ кислот обязана в первую очередь изменению энергии сольватации протонов.

В настоящее время в связи с установлением нами химических энергий сольватации ионов, в том числе и протона, в различных растворителях ⁽¹⁰⁾ стало возможным найти изменение энергии протона при его переходе из неводного раствора в воду и, следовательно, определить величины $\lg \gamma_{\text{О}}$, а вместе с тем и единую кислотность неводных растворов рА. В табл. 1 мы приводим величины $\lg \gamma_{\text{он}+}$ для метанола, этанола, аммиака и муравьиной кислоты, вычисленные по уравнению ⁽³⁾.

Как было показано нами ранее,

$$\lg \gamma_{\text{он}+} \approx 2 \lg \gamma_{\text{О}^{\text{ОСН}}} + \lg \gamma_{\text{О}^{\text{ОН}}}.$$

Величина $2 \lg \gamma_{\text{О}^{\text{ОСН}}} = \lg K_r + \lg \frac{a_{\text{Н}_2\text{О}}^*}{a_{\text{М}}^*}$ определяется изменением основности растворителя. В последнем выражении K_r — константа обмена протонов между ионами лиония и ионами гидроксония $K_r = \frac{a_{\text{М}}^* a_{\text{Н}_2\text{О}}^*}{a_{\text{Н}_2\text{О}}^* a_{\text{МН}+}^*}$. Эта

	Растворители				
	NH ₃	H ₂ O	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	HCOOH
$\Delta A_{x_{H^+}} = A_{x_{H^+H_2O}} - A_{x_{H^+M}}$	-23,0	0	5,0	6,0	12,0
$\lg \gamma_{OH^+}$	-16,6	0	3,5	4,3	8,6
$\lg \gamma_{OH^+} = 2 \lg \gamma_{O^{OH}}^{\text{осн}} + \lg \gamma_O^{\text{эл}}$	—	0	3,1	4,1	—

	NH ₃	H ₂ O	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₃ H ₇ OH	n-C ₄ H ₉ OH	n-C ₄ H ₉ OH	n-C ₆ H ₁₃ OH	C ₆ H ₅ CH ₂ OH	HCOOH
$\lg \gamma_{OH^+}$	-16,6	0,0	3,3	4,2	4,2	4,7	4,5	4,45	3,1	8,6

константа может быть определена экспериментально. Величина $\lg \gamma_O^{\text{эл}}$ представляет среднюю энергию сольватации ионов лиония и анионов кислот. На основании экспериментально полученных величин $\lg \gamma_O^{\text{осн}}$ и $\lg \gamma_O$ можно рассчитать $\lg \gamma_O^{\text{эл}}$ и, наконец, величину $\lg \gamma_{OH^+}$ (¹, ¹¹). Из табл. 1 следует, что полученные таким образом $\lg \gamma_{OH^+}$ совпадают с величинами $\lg \gamma_{OH^+}$, полученными непосредственно по разности энергий сольватации протонов. В этой же таблице приведены величины $\lg \gamma_{OH^+}$ в спиртах, вычисленные таким же путем. Величины $\lg \gamma_{OH^+}$ в спиртах и в муравьиной кислоте положительны, и, следовательно, активность протонов в ионах лиония этих растворителей возрастает. В аммиаке $\lg \gamma_{OH^+}$ имеет отрицательное значение, и, следовательно, активность протонов в ионах аммония ниже, чем в воде.

Рассчитанные на основании данных В. В. Александрова и Н. А. Измайлова (¹²) по уравнению (5) $\lg \gamma_{OH^+}$ в смесях этанола с водой в общем близки к величинам $\lg \gamma_{OH^+}$, рассчитанным Грюнвальдом (¹³) на основании

Таблица 2

Неводн. растворитель, %	$\lg \gamma_{OH^+}$ в смесях метанола с водой	$\lg \gamma_{OH^+}$ в смесях этанола с водой	
		наши данные	данные Грюнвальда
0	0	0	0
20	0,14	0,17	0,08
30	0,22	0,25	0,12
40	0,32	0,33	0,15
50	0,43	0,42	0,25
60	0,52	0,60	0,42
70	0,74	0,80	0,65
80	0,95	1,10	1,15
90	1,45	2,10	2,65
100	3,3	4,2	4,7

найденной им эмпирической зависимости силы незаряженных и катионных кислот от состава смеси (см. табл. 2).

Мы воспользовались величинами $\lg \gamma_{OH^+}$ для определения относительного положения шкал pH_p в единой шкале кислотности pA . Из рис. 1 следует, что величины pA растворов в этаноле располагаются в единой шкале от -4,2 до +15,1 pA , в метаноле от -3,3 до +13,5, в муравьиной кислоте от -8,6 до -2,5, в аммиаке от +16,4 до +49,1. Из рисунка следует, что самые щелочные растворы в муравьиной кисло-

те кислее самых кислых растворов в воде, что самые кислые растворы в аммиаке все же щелочнее самых щелочных водных растворов. Не следует, однако, думать, что, например, всегда растворы кислот в этаноле будут на 4,2 pA кислее соответствующих водных растворов. Величина pA растворов уксусной кислоты в этаноле мало отличается от pH ее водных растворов, это объясняется тем, что pK уксусной кислоты в этаноле на 5 порядков больше, чем в воде. Другими словами, в этаноле активность протонов в ионах этаксония значительно выше, чем в ионах гидроксония, и это обстоятельство повышает кислотность, но число ионов этаксония в

этанольном растворе уксусной кислоты значительно ниже, чем в соответствующем водном растворе, и это снижает кислотность.

Для иллюстрации соотношения величин pH_p и pA на рис. 2 приведены данные для растворов соляной кислоты и ацетатного буфера в смесях этанола с водой. Из рисунка следует, что значение pH_p разбавленного раствора HCl практически не изменяется при переходе от воды к спирту. Это является результатом того, что в исследуемой концентрации HCl во всех растворителях остается сильной кислотой. Наоборот, величина pH

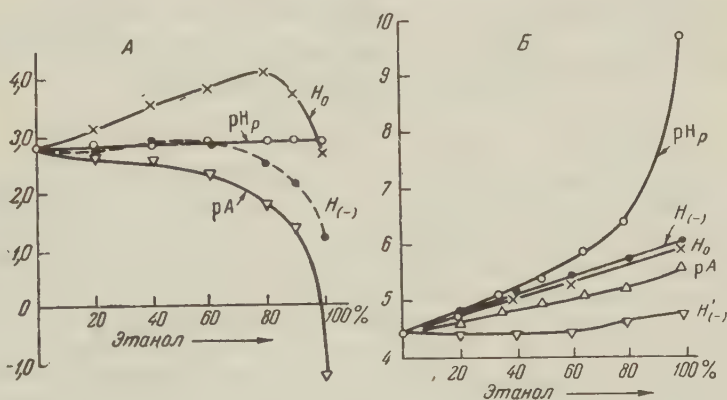


Рис. 2. Сопоставление величин pH_p , pA , H_0 и $H_{(-)}$ в смесях этанола с водой: А — раствор $0,002N HCl + 0,008N NaCl$; Б — буферный раствор $0,02 N HAc, 0,01N NaAc, 0,0005 N NaCl$; $H_{(-)}$ — с 2,4-динитрофенолом, $H'_{(-)}$ — с димедоном

этих растворов в соответствии с увеличением $\lg \gamma_{OH^+}$ резко падает при переходе от воды к спирту.

Совсем иначе изменяется кислотность ацетатного буфера. В связи с уменьшением силы уксусной кислоты с возрастанием содержания спирта величина pH_p сильно возрастает, а в связи с одновременным увеличением $\lg \gamma_{OH^+}$ величина pA изменяется мало, несколько возрастая к чистому спирту. Увеличение $\lg \gamma_{OH^+}$ и уменьшение $\lg K_{дис}$ взаимно компенсируются.

На этом же рисунке приведены функции кислотности H_0 и $H_{(-)}$ этих растворов: как видно, они не характеризуют истинной кислотности неводных растворов и занимают промежуточное положение между величинами pH_p и pA .

Харьковский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
27 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

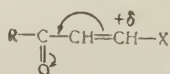
- ¹ Н. А. Измайлов, ЖФХ, 23, 639, 647 (1949); Н. А. Измайлов, В. Д. Бегульский, Рефераты докл. на совещ. по электрохимии, Изд. АН СССР, 1949.
- ² Н. А. Измайлов, И. Ф. Забара, ЖФХ, 20, 169 (1946); Н. А. Измайлов, В. В. Александров, ЖФХ, 31, 2619 (1957); Н. А. Измайлов, В. В. Александров, Е. Ф. Иванова, Тр. хим. фак. и Н.-и. инст. хим. Харьковск. гос. унив., 18, 5 (1957); Т. Харнед, Б. Оуэн, Физическая химия растворов электролитов, ИЛ, 1952.
- ³ N. Bronsted, Zs. phys. Chem., Abt. A, 169, 52 (1934).
- ⁴ L. L. Michaelis, M. Mizutani, Biochem. Zs., 147, 7 (1924); N. F. Hall, J. V. Conant, J. Am. Chem. Soc., 49, 3047 (1927).
- ⁵ L. P. Hammett, A. J. Deyrup, J. Am. Chem. Soc., 54, 2666 (1932); L. P. Hammett, Chem. Rev., 13, 61 (1933).
- ⁶ K. G. Bates, G. Schwarzenbach, Helv. Chim. Acta, 38, 699 (1958).
- ⁷ В. А. Плесков, Усп. хим., 16, 254 (1947).
- ⁸ H. Strelow, Zs. Elektrochem., 56, 827 (1952).
- ⁹ M. Born, Zs. Phys., 1, 45 (1920); W. M. Latimer, K. S. Pitzer, C. M. Slansky, J. chem. Phys., 7, 108 (1939).
- ¹⁰ Н. А. Измайлов, ДАН, 126, № 5 (1959).
- ¹¹ Н. А. Измайлов, Тр. Н.-и. инст. хим. Харьковск. гос. унив., 10, 5 (1938).
- ¹² В. В. Александров, Н. А. Измайлов, ЖФХ, 32, 404 (1958).
- ¹³ B. Gutierrez, E. Grünwald, J. Am. Chem. Soc., 75, 865 (1953).

Т. А. КУДРЯВЦЕВА, Н. М. ЧИРКОВ и Н. К. КОЧЕТКОВ
КИНЕТИКА РЕАКЦИИ НУКЛЕОФИЛЬНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ХЛОРА
В ФЕНИЛ-β-ХЛОРВИНИЛКЕТОНЕ

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 9 III 1959)

В то время как механизму реакции нуклеофильного замещения атома галоида у насыщенного углеродного атома посвящена обширная литература, данные о реакции нуклеофильного замещения галоида у ненасыщенного углеродного атома весьма скудны. Как хорошо известно, атом галоида, стоящий у углерода, несущего двойную связь в соединениях типа хлорвинила, весьма инертен в реакциях замещения. Однако в том случае, когда по другую сторону двойной связи находится какая-либо электрофильная группировка (CO, COOH, COOR и т. п.), атом галоида приобретает высокую подвижность и легко вступает в реакцию нуклеофильного замещения.

Указанные факты хорошо известны на примере замещения в β-хлоркратоновых кислотах и их производных ⁽¹⁾ и особенно широко были исследованы на примере β-хлорвинилкетонов ⁽²⁾. Резкое усиление подвижности атома галоида в этих случаях объясняется повышением электрофильности β-углеродного атома, облегчающим нуклеофильную атаку:



Однако имеющиеся до сих пор данные имели чисто качественный характер, что не позволяло провести сравнения подвижности галоида как в зависимости от природы активирующих групп (CO, COOH, COOR и т. д.), так и в зависимости от природы атакующего нуклеофильного реагента. Для выяснения указанных вопросов необходимо было иметь кинетические данные.

Недавно в нашей лаборатории была изучена кинетика реакции нуклеофильного замещения атома хлора в солях ⁽³⁾ и в эфирах стереоизомерных β-хлоркратоновых кислот и было показано, что это простые, необратимые бимолекулярные реакции. В продолжение этих исследований, существенных для понимания механизма реакций нуклеофильного замещения у непредельного атома углерода, нами изучена кинетика замещения атома хлора в фенил-β-хлорвинилкетоне, который, как было доказано, является транс-изомером ⁽⁴⁾, на этоксигруппу при взаимодействии его с этилатом натрия в спиртовом растворе. Эта реакция идет значительно быстрее, чем соответствующая реакция β-хлоркратоновых кислот, и приводит к получению β-кетоацеталей.

Необходимый для исследования β-хлорвинилкетон готовился по разработанному ранее методу ⁽⁵⁾ и тщательно очищался перегонкой. Кинетика его реакции с этилатом в спирте изучалась в пределах температур от —5 до —30°. Колбы с реагирующей смесью помещались в ультратермостат, сохраняющий температуру с точностью 0,1°. В качестве термостатирующей жидкости применялся метиловый спирт. К термостату присоединялась холодильная камера, заполнявшаяся твердой углекислотой. 0,1 N раствор фенил-β-хлорвинилкетона в абсолютном эфире (1 мл) разбавлялся абсолютным этиловым спиртом, охлаждался в термостате до температуры опыта, после чего к нему

добавлялся охлажденный до той же температуры спиртовой раствор этилата натрия, и концентрация раствора кетона в реагирующей смеси доводилась до 0,005 N. Этилат всегда брался в избытке, так как он частично расходуется на вторичные процессы (образование ацеталей и др.); последнее не имеет существенного значения, так как мы следили за кинетикой процесса обмена по изменению концентрации ионного галоида в реакционной смеси.

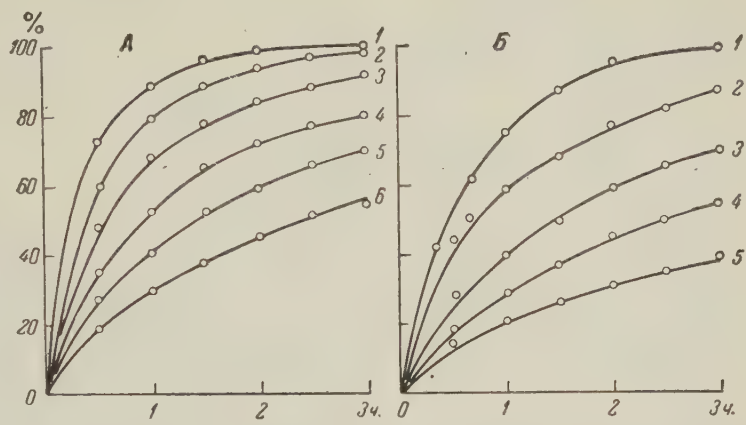


Рис. 1. Кинетические кривые реакции замещения хлора в фенил-β-хлорвинилкетоне на этокси-группу при его взаимодействии с этилатом натрия в среде этилового спирта: 1 — при -5°; 2 — при -10°; 3 — при -15°; 4 — при -20°; 5 — при -25°; 6 — при -30°. А — концентрация этилата натрия 5 молей на 1 моль кетона (этилат — 0,025 N, кетон — 0,005 N); Б — концентрация этилата натрия 2,5 моля на 1 моль кетона (этилат 0,0125 N, кетон — 0,005 N)

За начало реакции принималось время сливания растворов кетона и этилата, которые немедленно тщательно перемешивались. Ставилась серия опытов. Каждый из них прекращался через определенные промежутки времени. По окончании опыта реакционная смесь вынималась из термостата, разбавлялась водой, подкислялась азотной кислотой. Образовавшиеся ацетали и

Таблица 1

Константы скоростей замещения хлора в реакции фенил-β-хлорвинилкетона с этилатом натрия в абсолютном этиловом спирте при различных температурах

Концентрация растворов		Продолж., мин.	-5°		-10°		-15°		-20°		-25°		-30°	
этилат натрия	кетон		вых. хлориона, %	K	вых. хлориона, %	K	вых. хлориона, %	K	вых. хлориона, %	K	вых. хлориона, %	K	вых. хлориона, %	K
0,0250 N	0,005N	30	73	1,92	60	1,31	48	0,92	35	0,59				
		60	89	1,68	80	1,19	68	0,83	53	0,54	40	0,35	29	0,23
		90	96	1,67	89	1,12	78	0,75	65	0,50	52	0,35	38	0,22
		120	99	1,82	94	1,09	84	0,69	72	0,47	60	0,33	45	0,21
		150			97	1,10	88	0,64	77	0,44	66	0,31	51	0,20
		180	100		98,5	1,10	92	0,69	80	0,40	70	0,29	55	0,19
		K _{ср}		1,77		1,15		0,75		0,49		0,32		0,21
0,0125 N	0,005N	30			44	1,72	28	0,92	18	0,53	14	0,41		
		40			50	1,56								
		60			59	1,38	40	0,75	30	0,51	24	0,33		
		90			68	1,22	60	0,71	45	0,44	31	0,27		
		150			82	1,17	66	0,69	50	0,42	35	0,24		
		180			88	1,25	70	0,65	55	0,41	39	0,24		
		K _{ср}				1,34		0,74		0,46		0,30		

другие органические вещества отделялись путем пятикратной промывки реакционной смеси эфиром, и содержание хлора в водном слое определялось титрованием по Фольгарду с добавкой нитробензола, который вызывает коагуляцию осадка хлористого серебра и тем дает возможность точнее

Таблица 2

Энергия активации реакции замещения хлора на этоксил при взаимодействии фенол-β-хлорвинилкетона с этилатом натрия в среде абсолютного этилового спирта

Темп., °C	$\frac{10000}{T}$	$K \cdot 10^2$	$\lg (K \cdot 10^2)$
— 5	37,31	177	2,248
—10	38,02	115	2,060
—15	38,76	75	1,874
—20	39,52	49	1,690
—25	40,32	32,6	1,512
—30	41,15	21	1,322

$$E = 11,1 \text{ ккал/моль}$$

для бимолекулярной реакции на три порядка (см. табл. 2). Полученные данные показывают, что как и для случая β-хлоркротоновых кислот (3) реакция обмена атома галоида в β-хлорвинилкетонах является бимолекулярной, это согласуется с предложенным для нее ранее механизмом (2).

Таким образом, природа активирующих групп не влияет на порядок реакции обмена галоида в соединениях типа β-замещенных галоидных винилов. Вместе с тем природа этой группировки существенно сказывается на скорости обмена атома галоида, что видно из сравнения величин энергии активации реакции замещения галоида на этоксигруппу, которая составляет для натриевых солей цис- и транс-β-хлоркротоновых кислот 23 ккал/моль, для эфиров цис-β-хлоркротоновой кислоты 17,6 ккал/моль и падает для фенол β-хлорвинилкетона до 11,1 ккал/моль. Таким образом, если природа алкильного радикала в сложноэфирной группировке β-хлоркротоновых кислот не влияет на энергию активации реакции замещения, то замена сложноэфирной группировки на кетонную резко сказывается на энергии активации, что, естественно, связано с большей электрофильностью кетонной группы по сравнению со сложноэфирной и передачей этого эффекта на β-углеродный атом (см. схему на стр. 108).

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
3 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Autenrieth, Ber., 29, 1039, 1652, 1667 (1896). ² Н. К. Кочетков, Усп. хим., 24, 32 (1955). ³ Т. А. Кудрявцева, Н. М. Чирков, ЖФХ, 32, 2236 (1958). ⁴ Н. К. Кочетков, Б. П. Готтих, В. Г. Винокурова, Р. М. Хомутов, ДАН, 125, № 1 (1959). ⁵ Н. К. Кочетков, А. Х. Хорлин, М. Л. Карпейский, ЖОХ, 26, 595 (1956).

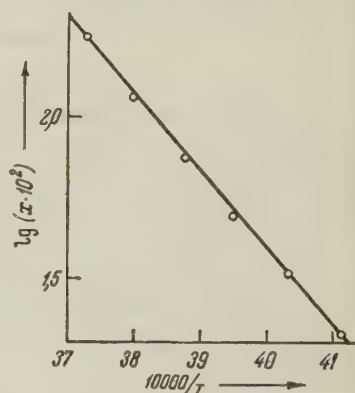


Рис. 2. Аррениусовская зависимость для реакции фенол-β-хлорвинилкетона с этилатом натрия

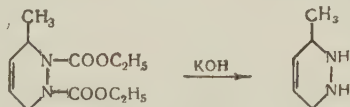
Р. Я. ЛЕВИНА, Ю. С. ШАБАРОВ и М. Г. КУЗЬМИН

ЦИКЛОПРОПАНЫ И ЦИКЛОБУТАНЫ О РАЗЛОЖЕНИИ АЛКИЛТЕТРАГИДРОПИРАЗИНОВ

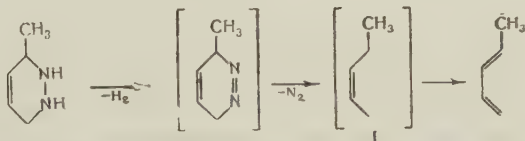
(Представлено академиком А. Н. Несмеяновым 18 II 1959)

В предыдущих работах (¹, ²) мы описали новый метод синтеза арилциклобутанов, состоящий в разложении арилтетрагидропиридазинов, получаемых гидролизом аддуктов азодикарбонового эфира с арилбутадиенами. Продолжая исследование, мы попытались применить этот метод для синтеза алкилциклобутанов.

Для этого гидролизом аддукта азодикарбонового эфира с пипериленом был получен 3-метилтетрагидропиридазин. Последний, как оказалось, содержит две NH-группы (было получено его дибензоильное производное), что свидетельствует о том, что при гидролизе аддукта двойная связь не перемещается к азоту, как это имеет место в случае аддуктов азодикарбонового эфира с арилбутадиенами (², ³), а остается в положении 4:



Хотя в результате гидролиза и не удалось получить 3-метил- Δ^2 -тетрагидропиридазин, но можно было ожидать, что в жестких условиях, при которых производится разложение, перемещение двойной связи к азоту все же произойдет и получится 3-метил- Δ^2 -тетрагидропиридазин, который (аналогично 3-фенил- Δ^2 -тетрагидропиридазину (¹, ²)) будет разлагаться на метилциклобутан и азот. Однако опыты показали, что при разложении полученного нами 3-метил- Δ^4 -тетрагидропиридазина нагреванием, как в присутствии различных катализаторов (платина, едкое кали, серебро; 200—250°), так и без них (300—350°), наблюдается лишь распад его на пиперилен, азот и водород по следующей схеме:



Промежуточно образующийся бирадикал I превращается только в диен (циклизация бирадикала в циклобутен термодинамически гораздо менее выгодна). Возможно, что реакция идет и иначе — путем распада 3-метил- Δ^4 -тетрагидропиридазина на пиперилен и диимид NH = NH, готчас же распадающийся на азот и водород.

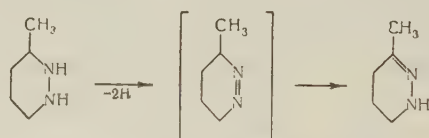
В пользу первого предположения говорит тот факт, что 3-метил- Δ^4 -тетрагидропиридазин при действии даже очень слабых окислителей, таких как CuCl₂, [Cu(NH₃)₄]Cl₂ и HgO, распадается на азот и пиперилен. Такой

распад подтверждает и то, что двойная связь в 3-метилтетрагидропиридазине, полученном гидролизом аддукта, находится в положении 4.

Аналогичные результаты были получены при изучении разложения 3,4,5,6-бис-циклопентано- и 3,4,5,6-бис-циклогексано- Δ^4 -тетрагидропиридазинов, синтезированных гидролизом аддуктов азодикарбонового эфира с 1,1'-дициклопентенилом и 1,1'-дициклогексенилом. Эти тетрагидропиридазины также содержат по две NH-группы (дают дибензоильные производные) и распадаются при нагревании (даже при перегонке в вакууме) по той же схеме: выделяются азот и водород и образуются, соответственно, дициклопентенил и дициклогексенил.

Таким образом, нами было установлено, что, исходя из аддуктов азодикарбонового эфира с алкилбутадиенами или их циклическими аналогами, нельзя получить циклобутановые углеводороды в две стадии — гидролизом и последующим разложением полученного при гидролизе тетрагидропиридазина. Поэтому мы решили синтезировать тетрагидропиридазины с двойной связью у атома азота (которые должны были бы при разложении приводить к циклобутанам) обходным путем: окислением гексагидропиридазинов.

Так, окислением 3-метилгексагидропиридазина был синтезирован 3-метилтетрагидропиридазин. Однако он оказался не ожидаемым 3-метил- Δ^1 -тетрагидропиридазином, а его изомером, содержащим NH-группу (дает продукт присоединения к фенилизотиоцианату). По-видимому, в условиях реакции происходит изомеризация азо-формы в гидразонную форму (в 3-метил- Δ^2 -тетрагидропиридазин):



Попытки разложить 3-метил- Δ^2 -тетрагидропиридазин в различных условиях не привели к получению метилциклобутана, так как или возвращался исходный тетрагидропиридазин, или же происходило осмоление, сопровождающееся глубоким распадом.

Аналогично окисление 3,4,5,6-бис-циклопентаногексагидропиридазина привело к образованию 3,4,5,6-бис-циклопентано- Δ^2 -тетрагидропиридазина, который при нагревании в присутствии катализаторов не разлагался с выделением азота и образованием трициклодекана, а возвращался в неизмененном виде или осмолялся.

Таким образом, оказалось, что алкил- Δ^2 -тетрагидропиридазины, в отличие от арил- Δ^2 -тетрагидропиридазинов и пиразолинов, не разлагаются при нагревании в присутствии катализаторов с выделением азота и образованием четырехчленных циклических углеводородов.

Экспериментальная часть

Δ^4 -Тетрагидропиридазины были получены гидролизом (⁴) аддуктов азодикарбонового эфира с пипериленом, 1,1'-дициклопентенилом и 1,1'-дициклогексенилом.

3-Метил-1,2,3,6-тетрагидропиридазин: выход 63%; т. кип. 63° (15 мм); n_D^{20} 1,4950; d_4^{20} 0,9735; MR_D , 29,40. $C_5H_{10}N_2F$. Вычислено * 29,78. Дибензоильное производное — т. пл. 122° (из спирта). Литературные данные (⁴): т. кип. 67° (18 мм); дибензоильное производное — т. пл. 121°.

* Атомная рефракция азота принималась равной 2,48 (⁵).

3,4,5,6-бис-Циклопентано- Δ^4 -тетрагидропиридазин: выход 28% (после перегонки в вакууме); т. кип. 132—135° (10 мм, с разложением). Дибензоильное производное — т. пл. 201—202° (из спирта).

Найдено %: С 77,30; 77,33; Н 6,40; 6,34
 $C_{24}H_{24}N_2O_2$. Вычислено %: С 77,39; Н 6,50

3,4,5,6-бис-Циклогексано- Δ^4 -тетрагидропиридазин: выход 54%; т. пл. 45—46° (из петролейного эфира). Дибензоильное производное — т. пл. 188—189° (из спирта).

Найдено %: С 77,90; 77,83; Н 7,00; 7,09
 $C_{26}H_{28}N_2O_2$. Вычислено %: С 77,97; Н 7,05

Разложение Δ^4 -тетрагидропиридазинов. 3-Метил- Δ^4 -тетрагидропиридазин нагревался в автоклаве в течение 2—8 час. до 200—250° в присутствии едкого кали. Газ, выделившийся при реакции, представлял собой смесь азота (~50%) и водорода (~50%) с небольшим количеством углекислого газа (~0,3%), непредельных углеводородов (~0,5%). Жидкий продукт реакции состоял из пиперилена, димера пиперилена и небольшого количества смолы. Пиперилен: т. кип. 41—42° (750 мм); аддукт с малеиновым ангидридом: т. пл. 60°. Литературные данные (6); т. кип. 42,4—42,6° при 766 мм; аддукт — т. пл. 61°. Димер пиперилена: т. кип. 155—162°; n_D^{20} 1,4710.

Найдено %: С 88,22; 88,29; Н 11,80; 11,97
 $C_{10}H_{16}$. Вычислено %: С 88,15; Н 11,85

Литературные данные (7): т. кип. 58—59° (11 мм); n_D^{20} 1,4692.

В том случае, если реакция проводилась в присутствии платины, количество водорода в газе уменьшалось, а в жидком продукте реакции (т. кип. 36—42°), наряду с пипериленом, содержались также пентен-2 и пентан. Пентен-2 был охарактеризован получением дибромиды (после удаления пиперилена обработкой фракции 36—42° малеиновым ангидридом): т. кип. 75—76° (14 мм); n_D^{20} 1,5070. Литературные данные (8): т. кип. 178° (748 мм); n_D^{20} 1,50783. Остаток после удаления пиперилена и пентена представлял собой *n*-пентан: т. кип. 35,5—36,0° (755 мм); n_D^{20} 1,3572; d_4^{20} 0,6260. Литературные данные (9): т. кип. 36,00° (760 мм); n_D^{20} 1,35769; d_4^{20} 0,62624.

При прибавлении пергидроля к водному раствору 3-метил-1,2,3,6-тетрагидропиридазина, в присутствии следов хлорной меди, происходит энергичная реакция, сопровождающаяся выделением азота и образованием пиперилена: выход 85%; т. кип. 41,5—42,0° (755 мм); n_D^{20} 1,4304; d_4^{20} 0,6814; аддукт с малеиновым ангидридом — т. пл. 60—61°.

Разложение 3,4,5,6-бис-циклопентано- и 3,4,5,6-бис-циклогексано- Δ^4 -тетрагидропиридазинов производилось нагреванием их в колбе Вюрца. При 150—200° в присутствии едкого кали и платины и при 200—250° в отсутствие катализаторов происходит бурная реакция. Выделяющийся газ состоит из азота (~50%) и водорода (~50%). Отгоняющийся жидкий продукт реакции представляет собой соответствующий диен.

1,1'-Дициклопентенил: выход 68%; т. кип. 75—76° (7 мм); n_D^{20} 1,5260; аддукт с малеиновым ангидридом — т. пл. 102—103°; литературные данные (10): т. кип. 78—79° (9 мм); n_D^{20} 1,5250; аддукт с малеиновым ангидридом — т. пл. 102—103°.

1,1'-Дициклогексенил: выход 77%; т. кип. 103—104° (7 мм); n_D^{20} 1,5334; аддукт с малеиновым ангидридом — т. пл. 122—123°. Литературные данные (10): т. кип. 100—101° (5 мм); n_D^{20} 1,5329; аддукт с малеиновым ангидридом — т. пл. 121—122°.

Δ^2 -Тетрагидропиридазины получались окислением соответствующих гексагидропиридазинов (синтезированных гидролизом гидрированных аддуктов ⁽⁴⁾ азодикарбонового эфира с пиперином и 1,1'-дициклопентилом) пергидролем в присутствии следов хлорной меди.

3-Метил- Δ^2 -тетрагидропиридазин: выход 82%; т. кип. 65° (16 мм); n_D^{20} 1,4880; d_4^{20} 0,9666; MR_D 29,27. $C_5H_{10}N_2F$. Вычислено * 28,96.

Продукт присоединения к фенилизотиоцианату — т. пл. 106° (из спирта).

Найдено %: С 65,60; 65,57; Н 6,70; 6,78; N 12,60; 12,70
 $C_{12}H_{15}N_3S$. Вычислено %: С 65,71; Н 6,89; N 12,78

3,4,5,6-бис-Циклопентано- Δ^2 -тетрагидропиридазин: выход 67%; т. кип. 121—122° (8 мм); n_D^{20} 1,5310; d_4^{20} 1,0592; MR_D 47,98. $C_{10}H_{16}N_2F$. Вычислено * 47,65.

Продукт присоединения к фенилизотиоцианату: т. пл. 149—150° (из спирта).

Найдено %: С 67,99; 68,00; Н 7,07; 6,96
 $C_{17}H_{21}N_3S$. Вычислено %: С 68,19; Н 7,07

Разложение Δ^2 -тетрагидропиридазинов. Попытки провести разложение 3-метил- Δ^2 -тетрагидропиридазина проводились как нагреванием его при атмосферном давлении до температуры кипения (в чистом виде и в присутствии едкого кали, платины, серебра, полухлористой меди), так и нагреванием в автоклаве. При трехчасовом нагревании до 250° никакой реакции не наблюдается и возвращается исходное вещество. При очень длительном нагревании или при повышении температуры до 300—350° происходит осмоление, сопровождающееся выделением небольшого количества газа (~25% азота, ~10% углекислого газа и ~50% непредельных углеводородов). Фракции метилциклобутана при разгонке продукта реакции выделить не удается.

3,4,5,6-бис-Циклопентано- Δ^2 -тетрагидропиридазин очень легко окисляется на воздухе даже при комнатной температуре. При нагревании его в атмосфере CO_2 до температуры кипения в присутствии едкого кали и платины выделения азота не наблюдается. При длительном нагревании (4—6 час.) происходит почти полное осмоление.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
14 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Р. Я. Левина, М. Г. Кузьмин, Ю. С. Шабаров, Вестн. Моск. ун-в., сер. хим., № 1, 170 (1957). ² Р. Я. Левина, Ю. С. Шабаров, М. Г. Кузьмин, Н. И. Васильев, Е. Г. Трещова, ДАН, 121, 303 (1958). ³ К. Alder, H. Niclas, Lieb. Ann., 585, 81 (1954). ⁴ P. Baranger, J. Levisalles, Bull. Soc. Chim. France, № 5, 704 (1957). ⁵ В. Р. Скварченко, М. Г. Кузьмин, Р. Я. Левина, Вестн. Моск. ун-в., сер. хим., № 3, 169 (1957). ⁶ E. H. Farmer, F. L. Warren, J. Chem. Soc., 1931, 3221. ⁷ C. Harries, Lieb. Ann., 395, 251 (1913). ⁸ Н. А. Розанов, ЖРФХО, 48, 182 (1916). ⁹ A. F. Shepard, A. L. Heppe, T. Midgley, J. Am. Chem. Soc., 53, 1948 (1931). ¹⁰ В. Р. Скварченко, Р. Я. Левина, О. Ю. Охлобыстин, ДАН, 99, 789 (1954). ¹¹ А. Н. Кост, И. И. Грандберг, ЖОХ, 26, 2319 (1956).

* Инкремент молекулярной рефракции для группы $>N-N=$ принимался равным 5,87 ⁽¹¹⁾.

Академик А. Н. НЕСМЕЯНОВ, Л. А. КАЗИЦЫНА, И. Ф. ЛУЦЕНКО
и Г. А. РУДЕНКО

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ α -МЕТАЛЛИРОВАННЫХ АЛЬДЕГИДОВ И КЕТОНОВ И ВИНИЛАТА ЛИТИЯ

В ряде работ (¹⁻³), связанных с изучением реакций α -меркурированных альдегидов и кетонов, была установлена способность этих соединений к двойственному (по С и по О) реагированию и образованию двух рядов производных. В одном случае, как при реакции с трифенилхлорметаном, образуются соединения, соответствующие прямой замене атома ртути, в других случаях, как, например, при действии галоидангидридов кислот, реакция проходит с переносом реакционного центра вследствие ярко выраженного сопряжения Hg — С и С = О связей (σ — π сопряжение).

В α -металлированных альдегидах и кетонах σ — π сопряжение проявляется так четко вследствие наличия атома металла сравнительно высокой поляризуемости (Hg, Sn). По тем же причинам в колебательных и электронных спектрах этих соединений можно ожидать изменений в характере поглощения карбонильной группы.

Нами было проведено исследование ультрафиолетовых и инфракрасных спектров в области поглощения карбонильной группы восьми меркурированных карбонильных соединений и двух кетонов, содержащих атомы олова в α -положении к С = О группе. Данные инфракрасных спектров, снятых на спектрометре ИКС-11, приведены в табл. 1, максимумы поглощения ультрафиолетовых спектров тех же карбонильных соединений помещены в табл. 2 (для сравнения в таблицах приведены данные для ацетальдегида, изомасляного альдегида и ацетона).

Таблица 1

Положение полосы поглощения С = О группы в α -металлированных оксосоединениях

Вещество	Частоты в см ⁻¹	Вещество	Частоты в см ⁻¹
Изомасляный альдегид	1736	C ₄ H ₉ COCH ₂ HgCl	1660—1670
Ацетон	1716	C ₅ H ₁₁ COCH ₂ HgCl	1660—1670
(CH ₃ COCH ₂) ₂ Hg	1660	Hg(CH ₂ CHO) ₂	1630—1650
CH ₃ CCCH ₂ HgCl	1660	ClHgCH ₂ CHO	1680
(C ₂ H ₅ COCH ₂) ₂ Hg	1660	CH ₃ COCH ₂ Sn(C ₂ H ₅) ₃	1686
C ₂ H ₅ COCH ₂ HgCl	1660—1670	CH ₃ COCH ₂ Sn(C ₄ H ₉) ₃	1684

Как видно из табл. 1, частоты карбонильной группы под влиянием атома ртути действительно заметно смещены; сдвиг соизмерим со сдвигом этой полосы под влиянием сопряжения С = О группы с двойной связью или ароматическим кольцом (1680—1665 см⁻¹) (⁴).

Ультрафиолетовые спектры поглощения ртутных и оловянных производных оксосоединений показали наличие интенсивной полосы поглощения в области, характерной для карбонильных соединений (280—300 мμ), причем

отмечено незначительное смещение характерной полосы в длинноволновую часть и очень сильное увеличение интенсивности (в 200—300 раз).

Полученные данные по инфракрасным и ультрафиолетовым спектрам α -металлированных оксосоединений служат новым доводом в пользу наличия в таких соединениях $\sigma-\pi$ сопряжения, обнаруживающегося в ряде химических реакций.

Кроме α -металлированных оксосоединений типа RCOCH_2Me (1), где $\text{Me} = \text{Hg}, \text{Sn}$, были изучены инфракрасные и ультрафиолетовые спектры

Таблица 2

Максимум поглощения карбонильных соединений в ультрафиолетовых спектрах поглощения

Вещество	λ , м μ	$\lg \epsilon$
CH_3CHO	293	1,07 ⁽⁵⁾
CH_3COCH_3	271	1,2 ⁽⁵⁾
$\text{Hg}(\text{CH}_2\text{CHO})_2$	296	2,90
$\text{ClHgCH}_2\text{CHO}$	300	2,60
$(\text{CH}_3\text{COCH}_2)_2\text{Hg}$	290	2,80
$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{HgCl}$	296	2,50
$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{SnCH}_2\text{COCH}_3$	277—280	2,34
$(\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{SnCH}_2\text{COCH}_3$	281—283	2,10

простейшего металлического энولات со структурой, изомерной структуре (1). В качестве объекта исследования был взят винилат лития $\text{CH}_2=\text{CHOLi}$, полученный из меркурбисацетальдегида $(\text{CH}_2\text{CHO})_2\text{Hg}$ ⁽⁶⁾. Снятые нами инфракрасные и ультрафиолетовые спектры этого соединения показали полное отсутствие поглощения, характеризующего карбонильную группу. Зато в инфракрасном спектре при 1610 см^{-1} находилась полоса средней интенсивности, соответствующая $\text{C}=\text{C}$ двойной связи; обращает на себя внимание

заметный сдвиг полосы поглощения двойной связи под влиянием металла (с $1660-1640\text{ см}^{-1}$ в виниловых эфирах до 1610 см^{-1} для винилата лития), что хорошо согласуется со смещением полосы двойной связи, сопряженной с фенильной или карбонильной группой ($1600-1625\text{ см}^{-1}$) ⁽⁴⁾.

Эти результаты подтвердили ранее сделанное заключение относительно С-структуры ртутноорганических соединений, полученных присоединением уксуснокислой ртути к простым и сложным эфирам, и О-структуры продуктов расщепления меркурбисацетальдегида с помощью щелочных металлов.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
20 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Несмеянов, И. Ф. Луценко, Н. Н. Верещагина, Изв. АН СССР, ОХН, 1947, 63. ² А. Н. Несмеянов, И. Ф. Луценко, ДАН, 59, 707 (1948). ³ А. Н. Несмеянов, И. Ф. Луценко, З. М. Туманова, Изв. АН СССР, ОХН, 1949, 601. ⁴ Л. Беллами, Инфракрасные спектры молекул, ИЛ, 1957. ⁵ А. Гиллем, Е. Штерн, Электронные спектры поглощения органических соединений, ИЛ, 1957, стр. 79. ⁶ А. Н. Несмеянов, И. Ф. Луценко, Р. М. Хомутов, ДАН, 120, 1049 (1958).

Член-корреспондент АН СССР А. В. НИКОЛАЕВ и Н. М. СИНИЦЫН

ЭКСТРАКЦИЯ НИТРОЗОНИТРАТА РУТЕНИЯ ЭФИРАМИ БУТИЛФОСФИНОВЫХ КИСЛОТ

В настоящее время в литературе начали появляться работы по экстракции урана, плутония и ряда других элементов новыми алкилфосфорными экстрагентами (^{1,2,10}). Значительный интерес к этому классу соединений вызван тем, что они обладают большей способностью извлекать уран и плутоний из водных растворов, чем трибутилфосфат (ТБФ). Л. Л. Бергером было установлено, что при переходе по ряду от ТБФ к дибутиловому эфиру бутилфосфиновой кислоты (ДЭБФ) и затем к бутиловому эфиру дибутилфосфиновой кислоты (БЭДФ) коэффициент распределения для плутония закономерно увеличивается (¹), принимая значения:

	ТБФ	ДЭБФ	БЭДФ
Pu ^{IV}	1,57	32	170
Pu ^{VI}	1,1	16	99

Хорошо известно, что рутений является одним из основных осколочных элементов, который создает большие трудности при регенерации урана, тория и плутония, сильно загрязняя органическую фазу β - и γ активностью (³). Вопрос о поведении рутения при экстракции довольно подробно изучен только для ТБФ. В работах Дж. М. Флетчера (^{3,4}), Ф. С. Мартина (⁷), А. В. Николаева (⁵) и др. изучена зависимость коэффициента распределения (K_p) рутения при экстракции ТБФ от концентрации экстрагента, кислотности водной фазы, валентного состояния рутения, температуры и концентрации рутения в исходных растворах. На основании исследований Дж. М. Флетчера (³), О. Е. Звягинцева (⁶), Д. Дженкинса (⁸), Р. Г. Броуна (²) и др. было установлено, что в азотнокислых растворах, полученных после растворения урановых блоков в азотной кислоте, радиорутений находится в виде нитрозонитратных комплексов.

В связи с этим представлялось интересным изучить поведение нитрозонитрата рутения при экстракции ДЭБФ и БЭДФ, так как даже при экстракции ТБФ загрязнение органической фазы радиорутением достигает в ряде случаев 70% (³).

В наших опытах экстракция проводилась в делительных воронках при отношении водной и органической фаз 1 : 1. Исходный раствор нитрозонитрата рутения, приготовленный по методике О. Е. Звягинцева и С. М. Старостина (⁶), содержал 0,1 г/л носителя в пересчете на металлический рутений и был 1N по азотной кислоте. Измерение γ -активности растворов производилось на сцинтилляционном счетчике со свинцовой прокладкой толщиной в 2 мм. В качестве экстрагентов использовались эфиры бутилфосфиновых кислот, разбавленные предельными высококипящими углеводородами (ПВУ). Для разделения фаз применялось центрифугирование. Коэффициент распределения рассчитывался по формуле

$$K_p = \frac{\text{Удельная } \gamma\text{-активность органической фазы}}{\text{Удельная } \gamma\text{-активность водной фазы}}.$$

Относительная ошибка в определении величины коэффициента распределения не превышала $\pm 10\%$.

Предварительно были установлены K_p нитрозонитрата рутения, приготовленного по указанной выше методике при экстракции его ТБФ, разбавленным в ПВУ. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Экстрагент	Процентное содержание экстрагента в разбавителе	Удельная активность органической фазы, имп/мин·мл	Удельная активность водной фазы, имп/мин·мл	Процент извлечения	Коэффициент распределения
C_4H_9O	0	ФОН	5990	0	0
$C_4H_9O - P = O$	5	65	6000	1,07	0,011
	20	563	5300	9,6	0,11
	40	1260	4640	21,4	0,27
	100	2860	3290	48	0,87
C_4H_9O	0	ФОН	5590	0	0
$C_4H_9O - P = O$	5	118	5500	2,1	0,024
	10	337	5490	5,8	0,062
	20	1200	4600	20,7	0,26
	100	3420	2300	59,8	1,48
C_4H_9O	0	ФОН	5400	0	0
$C_4H_9 - P = O$	5	734	4720	13,5	0,16
	10	1580	3900	29	0,4
	20	2070	3260	38	0,64
	100	4380	672	87,8	6,5

Из сравнения полученных значений K_p для ТБФ с величинами K_p рутения для ДЭБФ видно, что при удалении из молекулы экстрагента одной эфирной группы, резкой разницы в поведении нитрозонитрата рутения не наблюдается.

При экстракции БЭДФ K_p нитрозонитрата рутения по сравнению с ТБФ значительно увеличивается. Однократная экстракция неразбавленным БЭДФ дает 88% извлечение рутения, что соответствует $K_p = 6,5$.

Из полученных данных, графически изображенных на рис. 1, видно, что при небольших концентрациях экстрагентов в ПВУ K_p нитрозонитрата рутения для всех эфиров близки по значениям; они сильно растут при увеличении концентрации эфира и значительно отличаются друг от друга при экстракции чистыми экстрагентами.

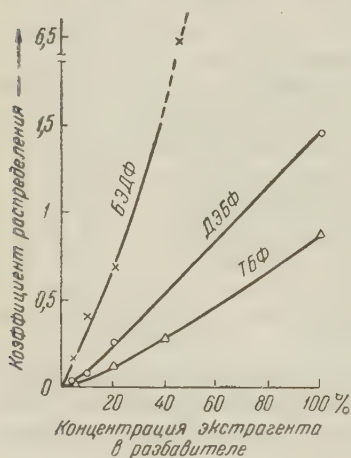
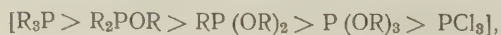


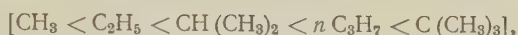
Рис. 1

Следовательно, для изученных экстрагентов извлечение нитрозонитрата радиорутения в органическую фазу увеличивается в ряду $ТБФ < ДЭБФ < БЭДФ$. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что с уменьшением числа эфирных групп в молекуле экстрагента, реакционная способность свободной пары электронов на фосфорильном кислороде увеличивается. Это объясняется уменьшением числа электроноакцепторных групп ($-O-C_4H_9$) и смещением электронного облака молекулы на фосфорильный кислород, который и обуславливает основное взаимодействие с экстрагируемым веществом. Подобная закономерность для увеличения реакционной способности была отмечена у ряда фосфинов



где R — жирный насыщенный радикал (°).

Отсюда следует, что если на месте эфирной группы⁷ вводить более электронодонорный радикал⁽¹¹⁾



то можно значительно увеличивать экстракционную способность органических растворителей разобранного выше класса. Этот подход к строению экстрагентов представляет несомненный интерес при выборе и синтезе новых экстрагентов.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения
Академии наук СССР

Поступило
26 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. L. Burger, J. Phys. chem., 5, 62, 520 (1958). ² C. A. Blake et al., 2-я Международн. конфер. по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958, № 1550; там же I. B. Burke et al., № 497; там же P. G. Brown, I. M. Fletcher et al., A/conf. 15/P/31 United Kingdom, 1958. ³ Ф. Р. Брюс, Докл. иностр. ученых на международн. конфер. по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955; Химия ядерного горючего, М., 1956, стр. 321; Б. Гольдшмидт, П. Ренво и И. Прево, там же, стр. 127; Дж. М. Флетчер, Ф. С. Мартин, там же, стр. 385. ⁴ J. M. Fletcher, J. Inorg. and Nucl. chem., 1, 6, 378 (1955); ⁵ А. В. Николаев, Н. М. Синицын, Сборн. Изотопы и излучения в химии, Изд. АН СССР, 1958, стр. 271; там же, A/conf. 15/P/31 United Kingdom, 1958. ⁶ О. Е. Звягинцев, Химия рутения. Докл. Сов. делегации на Международн. конфер. по мирному использованию атомной энергии, Том «Исследования в области геологии, химии и металлургии», 1955 г., стр. 216. Изд. АН СССР, 1955. ⁷ F. S. Martin, Chem. and Ind., № 31, 824 (1953). ⁸ J. Jenkins, A. Wain, J. Inorg. and Nucl. Chem., 2, 28 (1956). ⁹ А. И. Разумов, О. А. Мухачева, Тр. Казанск. хим.-технол. инст. им. С. М. Кирова, в. 17, 151 (1953). ¹⁰ В. Б. Шевченко, В. С. Смелов, Атомная энергия, 6, 2, 140 (1959). ¹¹ О. А. Реутов, Теоретические проблемы органической химии, 1956, стр. 54.

Академик Викт. И. СПИЦЫН, Л. Н. КОМИССАРОВА и З. А. ВЛАДИМИРОВА

ВОЛЬФРАМАТЫ ЦИРКОНИЯ И ГАФНИЯ

Литературные сведения о вольфраматах циркония весьма отрывочны и противоречивы; вольфраматы гафния в литературе не описаны. Нормальный вольфрамат циркония, $Zr(WO_4)_2$ — тугоплавкое вещество зеленого цвета — был получен сплавлением рассчитанных количеств ZrO_2 и WO_3 в пламени гремучего газа ⁽¹⁾. Известны условия образования гидратированных вольфраматов циркония состава $5ZrO_2 \cdot 9WO_3 \cdot 33H_2O$ и $5ZrO_2 \cdot 7WO_3 \cdot 21H_2O$ ^(2,3) и смешанного хлорида вольфрамата цирконила $ZrCl_4 \cdot 2Zr(WO_4)_2 \cdot 2ZrO_2$ ⁽⁴⁾. Однако индивидуальность последнего соединения мало вероятна. Сведения о свойствах и строении вольфраматов циркония в литературе отсутствуют, если не считать качественной характеристики растворяемости и результатов химического анализа.

Настоящая работа посвящена синтезу гидратированных и безводных вольфраматов циркония и гафния и изучению некоторых их свойств.

Гидратированные вольфраматы циркония и гафния были получены при взаимодействии растворов нитрата цирконила или гафнила и вольфрамата аммония. Концентрация исходных растворов составляла 10 г/л $ZrO_2(HfO_2)$ и WO_3 . Растворы сливались медленно при перемешивании. Объемы растворов брались в таком количестве, чтобы молекулярные отношения $ZrO_2(HfO_2)$ и WO_3 были равны 1:1. Если pH конечного раствора был больше 3,2, то в осадок выпадала гидроокись циркония или гафния. В интервале pH 1,8—3,2 образовывался белый коллоидный осадок, который коагулировал при нагревании в 5% растворе NH_4NO_3 . По данным анализа фильтрата оба исходные вещества реагировали полностью. Осадок отделялся от раствора, тщательно отмывался водой и сушился при 60° до постоянного веса.

Безводные вольфраматы циркония и гафния были получены спеканием при температуре 1100° в течение 6 час. окисей или гидроокисей циркония (гафния) с эквимолекулярными количествами вольфрамовой кислоты. Чтобы избежать улетучивания WO_3 , смеси вносились в нагретую до 1100° печь. Образование новой фазы контролировалось методом рентгенофазового анализа. В результате закалки продуктов спекания смесей ZrO_2 и WO_3 (1:1), HfO_2 и WO_3 (1:1) образовывались белые мелкокристаллические вещества, рентгенограммы которых чрезвычайно сходны между собой и

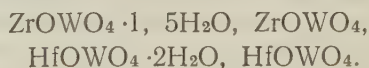
Таблица 1

Соединение	ZrO ₂ , %	HfO ₂ , %	WO ₃ , %	H ₂ O, %	Соотношение Zr(Hf)O ₂ : WO ₃ : H ₂ O
Водный вольфрамат циркония	31,33	—	61,80	6,67	0,98 : 1,00 : 1,46
Безводный вольфрамат циркония	35,41	—	64,33	—	1,04 : 1,00
Водный вольфрамат гафния	—	42,85	49,35	7,72	0,97 : 1,00 : 2,16
Безводный вольфрамат гафния	—	48,06	52,63	—	1,01 : 1,00

характеризуются индивидуальным набором линий. В случае медленного охлаждения образования соединений не происходит. При спекании окислов $ZrO_2(HfO_2)$ и WO_3 в других отношениях, например, 1 : 2, 1 : 3 и 2 : 1, образовывались соединения (1 : 1), содержащие избыток того или другого компонента. На рентгенограммах не было обнаружено новых линий, свидетельствующих о существовании веществ с другим соотношением окислов.

Анализ полученных соединений проводился методами щелочного и пиросульфатного сплавления. В первом случае вещества сплавляли с 1,5—2-кратным избытком твердого $NaOH$ до образования прозрачного плава. Плавы выщелачивали горячей водой; из раствора определяли вольфрам, осадок гидроокиси циркония прокаливали при $800-900^\circ$ и взвешивали. Во втором случае вещества сплавляли с 10—15-кратным избытком пиросульфата калия, прозрачный плавы выщелачивали горячей водой; из раствора определяли цирконий, осадок $WO_3 \cdot nH_2O$ прокаливали при 700° и взвешивали. Количество воды в гидратированных вольфраматах циркония и гафния определяли по разности веса после прокаливании вещества при 700° до постоянного веса. Средние результаты (из 5—6 опытов) анализов полученных соединений представлены в табл. 1. В соответствии

с данными анализа синтезированных соединений следует приписать формулы:



Гидратированные вольфраматы цирконила и гафнила представляют собой белые, рентгеноаморфные вещества, поглощающие на воздухе влагу. Большое количество линий (свыше 70) на рентгенограммах безводных вольфраматов циркония и гафния свидетельствуют или о низкой симметрии их кристаллической решетки, или об очень

большом значении, по крайней мере, одного из осевых параметров. Большие величины углов скольжения согласуются с небольшими значениями плотностей: 5,27 для $ZrOWO_4$ и 6,27 для $HfOWO_4$. (Определение удельных весов проводилось пикнометрически при 25° .)

Для подтверждения индивидуального характера полученных соединений и сопоставления их свойств были исследованы термическая устойчивость, летучесть с водяным паром и отношение к реагентам.

Превращения вольфраматов цирконила и гафнила, протекающие при нагревании, изучались с применением пирометра Курнакова и весов непрерывного взвешивания. Изменение структуры веществ и образование новых кристаллических фаз определялось методом рентгенофазового анализа. Согласно кривой изменения веса (рис. 1) и термограммам нагревания (рис. 2 и 3) обезвоживание $ZrOWO_4 \cdot 1,5H_2O$ и $HfOWO_4 \cdot 2H_2O$ протекает в две стадии: в интервале $80-240^\circ$ удаляется 1 моль H_2O и затем при $450-550^\circ$ оставшаяся вода. Потеря воды происходит без изменения аморфного состояния веществ. Полное обезвоживание соединений по данным рентгенофазового анализа сопровождается разложением на окислы ZrO_2 , HfO_2 и WO_3 .

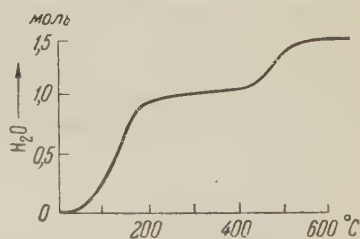


Рис. 1. Кривая изменения веса $ZrOWO_4 \cdot 1,5H_2O$ при нагревании (средняя скорость повышения температуры $10^\circ/\text{мин}$; навеска 0,9719 г)

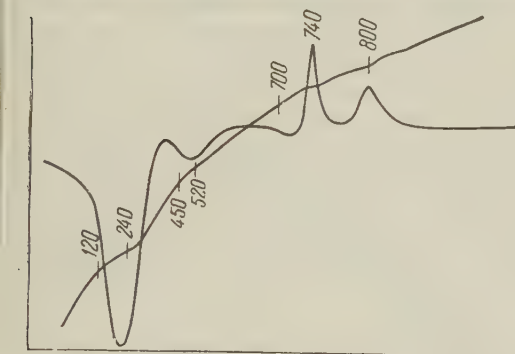


Рис. 2. Термограмма нагревания $ZrOWO_4 \cdot 1,5H_2O$ (средняя скорость повышения температуры $12^\circ/\text{мин}$)

При этом в интервале температур 740—800° кристаллизуются моноклинные ZrO_2 и HfO_2 и высокотемпературная ромбическая модификация WO_3 , их образование отмечается на термограммах соединений циркония и гафния экзотермическим эффектом. Кристаллизация ZrO_2 и WO_3 протекает через стадию образования низкотемпературной кубической формы ZrO_2 и моноклинной WO_3 (экзотермический эффект при 700—740°). Безводные вольфраматы цирконила и гафнила при нагревании до 800—850° разлагаются на окислы. Термограммы нагревания $ZrOWO_4$ и $HfOWO_4$ почти аналогичны. На термограмме $ZrOWO_4$, представленной для примера на рис. 4, ясно выражены 2 эффекта. Первый экзотермический эффект (850—900°) связан с разложением вещества, которое протекает с образованием моноклинной ZrO_2 и ромбической WO_3 . Эндотермический

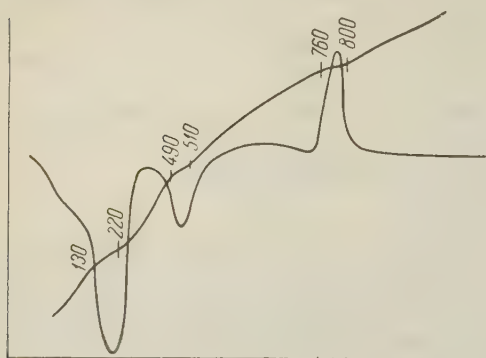


Рис. 3. Термограмма нагревания $HfOWO_4 \cdot 2H_2O$ (средняя скорость повышения температуры 12°/мин)

эффект (1150—1180°) обусловлен обратимым переходом моноклинной модификации ZrO_2 в тетрагональную.

Изучение летучести соединений с водяным паром проводилось в зависимости от температуры. Для этой цели использовалась установка, описанная в предыдущих работах (6). Все опыты выполнялись в совершенно аналогичных условиях. Вещество, измельченное до размера зерен $< 100 \mu$, помещалось в нагретую до заданной температуры печь. Отгонка соединений и для сравнения WO_3 проводилась при 600, 700, 800, 900 и 1000°. После проведения опыта в остатке определялось содержание ZrO_2 или HfO_2 и WO_3 . Полученные результаты, представляющие средние значения из 4—5 определений, сведены в табл. 2. Водные вольфраматы циркония и гафния обладают довольно высокой летучестью с водяным паром, причем летучесть соединений возрастает с увеличением содержания в них связанной воды. При 700°, когда оба соединения пере-

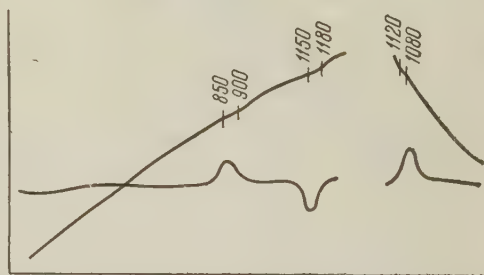


Рис. 4. Термограмма нагревания и охлаждения $ZrOWO_4$ (средняя скорость повышения температуры 10°/мин)

Таблица 2

Летучесть вольфраматов цирконила и гафнила в токе водяного пара. Навеска — 0,3 г, скорость подачи водяного пара — 4,5 мл/см² час, продолжительность опыта — 1 час

Температура, °C	Убыль веса, %							Отношение $ZrO_2(HfO_2) : WO_3$ в остатке					
	WO_3	$ZrWO_4$	$ZrWO_4 \cdot 1,5H_2O$		$HfWO_4$	$HfWO_4 \cdot 2H_2O$		$ZrWO_4$	$ZrWO_4 \cdot 1,5H_2O$	$HfWO_4$	$HfWO_4 \cdot 2H_2O$		
			при влажн.			при влажн.							
			8%	13%		8%	13%						
600	1,1	1,3	12,3	30,0	0,3	12,6	41,5	1,04 : 1	1,05 : 1	0,96 : 1	0,99 : 1		
700	1,7	1,2	14,6	31,5		26,4	51,8	1,06 : 1	1,06 : 1				
800	2,2	2,5	17,4	39,2		27,7	60,3	1,30 : 1	1,24 : 1			1,02 : 1	1,01 : 1
900	6,1	7,6	21,3	50,9		48,8	83,8	1,39 : 1	1,35 : 1			1,04 : 1	1,09 : 1
1000	29,6	20,1	43,7	83,0		21,9		2,04 : 1	—			1,55 : 1	2,32 : 1

гоняются без разложения, величина отогнанных фракций $ZrOWO_4 \cdot 1,5H_2O$ и $HfOWO_4 \cdot 2H_2O$ на 13—11% (влажность 8%) и на 30—40% (влажность 13%) больше по сравнению с WO_3 . Повышение температуры приводит к разложению веществ, но соединение гафния характеризуется более высокой термической устойчивостью и большей летучестью в сравнении с соединением циркония. Летучесть безводных вольфрамов по величине почти аналогична летучести WO_3 . Однако в этом случае наблюдается такое же различие в устойчивости соединений циркония и гафния. $ZrOWO_4$ и $ZrOWO_4 \cdot 1,5H_2O$ уже при 800° подвергаются частичному разложению, между тем $HfOWO_4$ и $HfOWO_4 \cdot 2H_2O$ в токе водяного пара устойчивы до 1000° . Отношение $HfO_2:WO_3$ в остатке при температурах отгонки $700—900^\circ$ остается постоянным и равным 1:1.

Таблица 3

Изучение отношения к реагентам проводилось с концентрированными растворами HCl (36%), H_2F_2 (25%), H_2SO_4 (94%), $NaOH$ (20%) и NH_4OH (29%) при комнатной температуре (18°) и нагревании ($85—90^\circ$). Определенная навеска вещества (0,12—0,20 г) при периодическом перемешивании обрабатывалась 50—100 мл реагента в течение 4 час. Остаток отмывался водой, просушивался при

Отношение вольфрамов цирконила и гафнила к реагентам

Реагент	Количество растворенного вещества, г/100 г реагента	
	$ZrOWO_4$	$HfOWO_4$
HCl 36%	0,053	0,153
H_2SO_4 94%	0,068	0,126
H_2F_2 25%	0,310	0,332
NH_4OH 29%	0,024	0,086
$NaOH$ 20%	0,330	0,240

100° и взвешивался. В случае безводных вольфрамов остатки подвергались рентгенофазовому анализу. Проведенные исследования показали, что водные вольфраматы цирконила и гафнила по сравнению с безводными соединениями значительно легче взаимодействуют с примененными реагентами. Навески $ZrOWO_4 \cdot 1,5H_2O$ уже на холоду полностью растворяются в растворах $NaOH$ и H_2F_2 . В концентрированных растворах HCl и H_2SO_4 полное растворение достигается только при нагревании. В отличие от вольфрамовой кислоты $ZrOWO_4 \cdot 1,5H_2O$ значительно хуже растворим в NH_4OH (в 30 раз). Безводные вольфраматы только при нагревании несколько растворяются в $NaOH$ и H_2F_2 ; в концентрированных растворах H_2SO_4 , HCl и NH_4OH оба соединения обладают незначительной растворимостью (табл. 3). При взаимодействии с HCl и H_2SO_4 вольфрамат цирконила разлагается, в то время как соединение гафния не изменяется. Следует отметить, что скорость растворения $HfOWO_4$ в 3—4 раза больше по сравнению с $ZrOWO_4$.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
25 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. В. Nernst (Konsort. Elektrochem. Ind.), нем. патент 184706 (1906).
² I. Mellor, A Compr. Treatise Inorg. Theor. Chem., **11**, 791 (1948). ³ L. A. Hal-
 loreau, C. R., **122**, 1419 (1896). ⁴ С. Танатар, Э. Куровский, Журн.
 Русск. физ.-хим. общ., **41**, 813 (1909). ⁵ Викт. И. Спицын, В. И. Шостак, ЖОХ,
22, 1063 (1952).

В. Л. АНТОНОВСКИЙ и И. В. БЕРЕЗИН

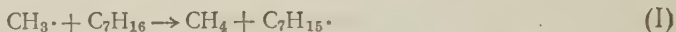
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ОТРЫВА МЕТИЛЬНЫМ РАДИКАЛОМ АТОМОВ ТРИТИЯ *n*-ГЕПТАНОВ

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 20 III 1959)

Относительная реакционная способность СН-связей нормальных парафинов определялась по составу продуктов таких сложных реакций, как окисление, хлорирование, сульфохлорирование и т. п. ⁽¹⁻³⁾ или сравнением скоростей реакций ряда гомологов ⁽⁴⁾.

Применение трития дает возможность прямого сопоставления скоростей отрыва свободным радикалом атомов водорода, расположенных в определенных местах молекулы углеводорода. В настоящей работе определено отношение констант скоростей отрыва трития для всех положений СТ-связей *n*-гептана.

Если генерировать радикалы СН₃ в среде *n*-гептана, у которого *j*-й сорт СН-связей помечен замещением очень малой части водорода на тритий, и если количество вступивших в реакцию радикалов СН₃ будет много меньше общего количества *n*-гептана, то состав метана, образующегося по реакциям



будет определяться уравнением

$$\frac{[\text{CH}_3\text{T}]}{[\text{CH}_4]} = \frac{k_j^{\text{T}} [\text{C}_j\text{T}]}{[\text{C}_7\text{H}_{16}] \sum_{i=1}^4 k_i^{\text{H}} n_i} \quad (1)$$

Поскольку $[\text{C}_j\text{T}] \ll [\text{C}_j\text{H}]$ и $[\text{CH}_3\text{T}] \ll [\text{CH}_4]$, то удельная активность $I_{\text{RH}} = \gamma [\text{RT}]/[\text{RH}]$, где γ — коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров счетчика, и уравнение (1) принимает вид:

$$I_{\text{M}} = \frac{k_j^{\text{T}} I_{\text{r}}}{\sum_{i=1}^4 k_i^{\text{H}} n_i} \quad (2)$$

где n_i — число связей в гептане *i*-го сорта; k_j^{T} — константа скорости реакции (2) с *j*-м сортом СТ-связей; I_{M} и I_{r} — удельные активности метана и меченого гептана, измеренные в одних и тех же единицах.

Пометив поочередно все связи в *n*-гептане тритием и проведя отдельно реакции метильных радикалов с каждым из этих меченых гептанов, найдем отношение констант скоростей, которое, согласно уравнению (2), с учетом равенства знаменателей во всех случаях пометок будет равно:

$$k_1^{\text{T}} : k_2^{\text{T}} : k_3^{\text{T}} : k_4^{\text{T}} = \left(\frac{I_{\text{M}}}{I_{\text{r}}}\right)_1 : \left(\frac{I_{\text{M}}}{I_{\text{r}}}\right)_2 : \left(\frac{I_{\text{M}}}{I_{\text{r}}}\right)_3 : \left(\frac{I_{\text{M}}}{I_{\text{r}}}\right)_4 \quad (3)$$

В качестве источника метильных радикалов была использована перекись ацетила. Разложение перекиси производилось нагреванием ее 0,02 М растворов в соответствующем меченом гептане в ампулах при 55—85°. Температура поддерживалась с точностью $\pm 0,05^\circ$.

Метан отделялся от других газообразных (CO₂, C₂H₆) и жидких продуктов реакции в вакуумной установке пропусканием через серию ловушек, охлаждаемых азотом.

Таблица 1

Т-ра, °C	Место пометки гептана тритием	Удельн. активн. давления вещ-ва в счетчике, имп./мин·мм		k_i^T / k_2^T
		гептан	метан	
85	-1-	85 100±3000	38±2	0,103±0,006
	-2-	48 500±600	211±2	1
	-3-	11 230±260	48,4±0,8	0,99±0,03
75	-3-	11 230±260	43,2±0,8	—
70	-1-	85 100±3000	28,7±0,4	0,098±0,003
	-2-	48 500±600	166±1	1
65	-3-	11 230±260	40,4±0,6	1,05±0,03
	-3-	11 230±260	36,3±0,5	—
55	-1-	85 100±3000	19,0±0,8	0,081±0,006
	-2-	48 500±600	133±3	1
	-3-	11 230±260	32,0±0,6	1,04±0,04
	-4-	21 000±600	60±1,5	1,04±0,05

Уравнения (1)—(3)справедливы в том случае, если состав образующегося метана определяется только реакцией СН₃· с гептаном. Как показали проверочные опыты, удельная активность метана не зависит от глубины разложения перекиси. Это означает, что метаном, образующимся при реакции метильных радикалов с продуктами реакции и самой перекисью ацетила, можно пренебречь.

В табл. 1 даны основные результаты опытов* и приведены средние значения удельных активностей, полученных в нескольких параллельных опытах. Ошибки везде средние квадратичные. Величина константы скорости k_2^T отрыва атомов трития от гептана-2-*t* принята за единицу.

При обработке методом наименьших квадратов результатов индивидуальных опытов по уравнению

$$\lg \left(\frac{I_{\text{м}}}{I_{\text{г}}} \right)_i = \lg \frac{A_i^T}{A_{\sigma}^H} - (E_i^T - E_{\sigma}^H) \lg \frac{e}{RT}, \tag{4}$$

где A_{σ}^H — предэкспоненциальный фактор и E_{σ}^H — эффективная энергия активации суммарной константы реакции (I) с *n*-гептаном $k_{\sigma}^H = \sum_{i=1}^4 k_i n_i$, получаем (см. табл. 2), что

$$k_1^T/k_2^T = 0,96 e^{-1570/RT}, \quad k_2^T/k_3^T = 0,69 e^{-270/RT}.$$

Таблица 2

Углеводород	$\lg \frac{A_i^T}{A_{\sigma}^H}$	$E_i^T - E_{\sigma}^H$, кал/моль	$\lg \frac{A_i^T}{A_2^T}$	$E_i^T - E_2^T$, кал/моль
Гептан-1- <i>t</i>	-0,22±0,29	5120±460	-0,02±0,30	1570±480
Гептан-2- <i>t</i>	-0,20±0,07	3550±110	—	—
Гептан-3- <i>t</i>	-0,36±0,09	3280±150	-0,16±0,11	-270±190

* Часть опытов с гептанами-2-*t* и -3-*t* выполнены О. Б. Месиневой.

Расчет по уравнению (4) можно производить несмотря на то, что k_{σ}^H является суммой констант, поскольку в случае гептанов-1,-2-*t* и -3-*t* зависимость $\lg(I_M/I_T)$ от обратной температуры является линейной, как это видно из рис. 1 и 2. Это означает, что в рассматриваемом интервале температур E_{σ}^H практически постоянна. Поскольку реакционная способность всех вторичных С—Т-связей, а следовательно, и С—Н-связей в изученном интервале температур практически одинакова, то по всем величинам отношений I_M/I_T для гептанов-2-*t* и -3-*t* одновременно можно рассчитать усредненный кинетический изотопный эффект для вторичных связей *n*-гептана, который равен:

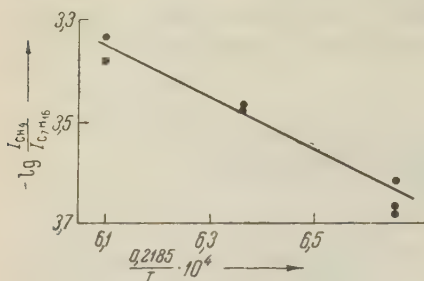


Рис. 1. Зависимость логарифма отношения удельных активностей метана к удельной активности гептана-1-*t* от абсолютной температуры T

$$(k^H/k^T)_{\text{втор}} = 0,20 e^{-3400/RT}.$$

Эта величина совпадает с величиной кинетического изотопного эффекта для циклогептана ⁽⁶⁾.

Согласно полученным в настоящей работе величинам k_i^T/k_2^T скорости отрыва атомов трития и, очевидно, атомов водорода для всех вторичных

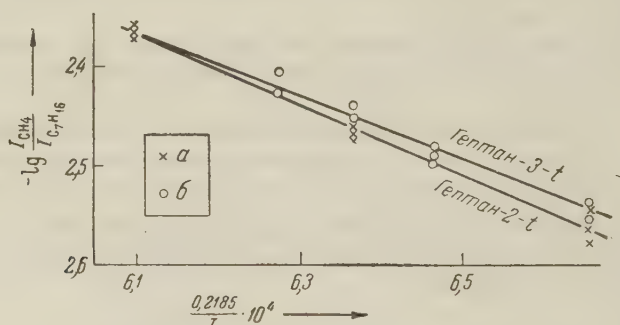


Рис. 2. Зависимость логарифма отношения удельных активностей метана к удельным активностям гептана-2-*t* (а) и гептана-3-*t* (б) от абсолютной температуры T

С—Н (С—Т)-связей *n*-гептана одинаковы (с точностью до 10%) в интервале температур 10—220°, что является прямым указанием на одинаковую реакционную способность всех вторичных С—Н-связей *n*-парафинов в радикальных реакциях, по крайней мере, в указанном интервале температур.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
11 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. Asinger, G. Geisler, H. Eckoldt, Ber., **89**, 1037 (1956).
- ² J. L. Benton, M. M. Wirth, Nature, **171**, 269 (1953).
- ³ А. Н. Башкиров, В. В. Камзолкин и др., ДАН, **119**, 705 (1958).
- ⁴ E. W. R. Steacie, Atomic and Free Radical Reactions, 2 ed., N. Y., 1954.
- ⁵ В. Л. Антоновский, И. В. Березин, Научн. докл. Высш. школы, Хим., 320 (1958).
- ⁶ В. Л. Антоновский, И. В. Березин, там же, 731 (1958).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Член-корреспондент АН СССР В. М. ВДОВЕНКО и В. А. ЩЕРБАКОВ

ПАРАМАГНЕТИЗМ РАДИОАКТИВНЫХ РАСТВОРОВ

В результате радиолитических реакций в растворах образуется большое число ионов, молекул и радикалов. По-видимому, значительная часть промежуточных соединений и продуктов реакций радиолитического распада парамагнитна. Поэтому изучение магнитных свойств таких растворов представляет особый интерес⁽¹⁾. Целью работы явилось исследование характера магнитных свойств водных растворов, облученных растворенными в них радиоактивными изотопами или изолированным от раствора источником β , γ -излучения, и величины их влияния на время спинрешеточной релаксации T_1 протонов воды. Последнее является параметром, определяющим при некоторых условиях интенсивность сигнала ядерного магнитного резонанса. Обратно пропорциональное интенсивности сигнала время T_1 , т. е. время установления термодинамического равновесия между системой спинов протонов, в данном случае, и массой раствора, «решеткой», очень чувствительно, как известно⁽²⁾, к присутствию парамагнитных примесей в растворах (особенно для тех, в которых имеется интенсивный протонный обмен).

В литературе таких работ не имеется. Настоящее сообщение посвящено изложению предварительных результатов.

Определение относительных изменений времени релаксации протонов проводилось на созданной нами установке, представляющей собой некоторое видоизменение спектрометра Паунда — Найта⁽³⁾. Сигналы протонного резонанса наблюдались и измерялись на осциллографе или катодным вольтметром. Магнитное поле создавалось постоянным магнитом (~ 3080 гаусс).

Методика относительных измерений T_1 в целом аналогична описанной Ривкингом^(4, 5). Все растворы готовились на бидистиллате воды. Квалификация применявшихся изотопов, согласно паспортам Союзреактивсбыта х. ч. и р. х. ч. Внешнее облучение производилось источником $\text{Eu}^{152, 154}$ (~ 40 мКи), запаянным в маленькую ампулу и помещавшимся непосредственно в раствор.

Результаты наблюдений растворов, содержащих различные изотопы, приведены в табл. 1. В качестве стандартов (чтобы избежать влияния электропроводности и повысить точность измерений) всегда применялись растворы, состав которых соответствовал в каждом случае составу раствора, содержащего радиоактивный изотоп. Отношение сигнала такого раствора к сигналу от исследуемого раствора — $A/A_{\text{ст}}$ — служит в табл. 1 мерой уменьшения T_1 . Мощности доз (P) для β , γ -излучений рассчитаны в прибли-

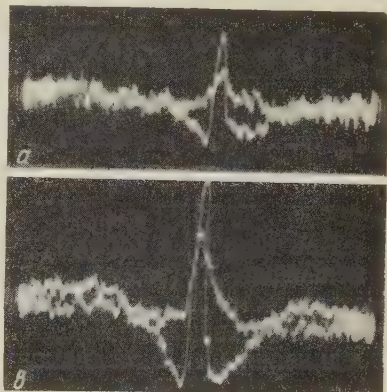


Рис. 1. Фото осциллограмм: а — 1% раствор щавелевой кислоты, б — Zr^{95} в 1% $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

жении «сфера, заполненная β, γ -активным веществом»; для изолированного источника $\text{Eu}^{152, 154}$ использовано для расчета приближение «точечный источник» (см. К. К. Аглинцев (⁶)). Максимальная погрешность в определении отношения $A/A_{\text{ст}}$ около 15 %. (Использование единого стандарта, например $1N \text{H}_2\text{SO}_4$, увеличивает погрешность до 25 %.) Погрешность в определении P составляет 10—15 %. На рис. 1 приведены для качественного сравнения фото осциллограмм различных сигналов.

Таблица 1

№№ пп.	Изотоп	Состав раствора	Актив- ность мКи/мл	P β , фэр/час	P γ , фэр/час	Продол- житель- ность об- лучения	$D \cdot 10^{-6}$, г	$A/A_{\text{ст}}$
1	Na^{24}	Нас. NaCl в 10% H_2SO_4	75	260 600	269,4	46 час.	4,99	17,0
2	S^{35}	$1N \text{H}_2\text{SO}_4$ $0,9 N \text{H}_2\text{SO}_4$	2,2 45,8	1080 22 380	—	272 дн. 20 дн.	2,28 10,16	4,0 11,8
3	Sr^{89}	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ в $1 N \text{HNO}_3$	20,0	75 000	—	180 дн.	119,48	4,0
4	Zr^{95}	$\text{Zr}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ в 1% $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	30,6	11 570	787,6	85 дн.	16,57	25,5
5	Cd^{115}	CdCl_2 в 0,2 N HCl	0,4	16 100	0,1	154 дн.	22,03	4,7
6	$\text{Eu}^{152, 154}$	0,5 $N \text{HClO}_4$	~ 40	51,0	22,5	150 час.	0,01	5,9

Как видно из табл. 1, присутствие активности в растворе производит уменьшение T_1 (возрастание отношения $A/A_{\text{ст}}$), которое далеко выходит за погрешность эксперимента.

Наблюдавшееся уменьшение T_1 не могли обусловить ни взятые нами соединения (все они диамагнитны), ни продукты распада изотопов, могу-

щие, вероятно, быть парамагнитными, так как содержание изотопов в растворах не превышало 10^{-10} г/мл (табл. 1). Такие концентрации парамагнетиков лежат за нижним пределом чувствительности нашей установки. Кроме того, об этом же говорят опыты с изолированным от раствора источником $\text{Eu}^{152, 154}$.

Если бы все же обнаруженное уменьшение T_1 обуславливалось случайными парамагнитными примесями в исходных растворах и солях, вносимых в растворы вместе с активностью, то оно должно было бы проявиться сразу при введении активности. С целью выяснения этого были поставлены опыты с Na^{24} , иллюстрируемые рис. 2, ко-

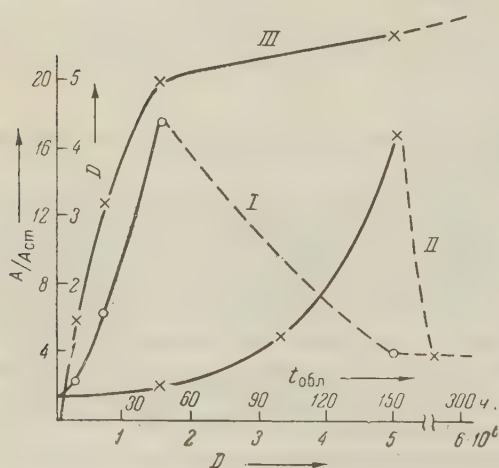


Рис. 2. I — изменение $A/A_{\text{ст}}$ во времени при облучении, II — изменение $A/A_{\text{ст}}$ от дозы, III — рост дозы во времени. Насыщенный раствор NaCl в 10% H_2SO_4

торый показывает изменение отношения $A/A_{\text{ст}}$ во времени от дозы (D) для растворов NaCl — 10% H_2SO_4 и нарастание дозы во времени.

Сначала наблюдается совершенно отчетливый рост сигнала, затем очень медленное его падение (несмотря на то, что доза D продолжала расти; в опытах с Na^{24} мы не получили $A/A_{\text{ст}} = 1$ даже через 360 час.). Аналогичные результаты были получены несколько иным путем — разбавлением растворов Zr^{95} , S^{35} и др.; сигнал сначала падал в соответствии с разбавлением, а затем увеличивался со скоростью, пропорциональной мощности дозы P , до величины, которая обычно очень точно совпадала с величиной, полученной до разбавления. Это указывает, что уменьшение W_1 происходит в растворе именно под действием активности.

Новое свойство растворов довольно устойчиво. Об этом говорят уже упоминавшиеся опыты с растворами, полученными $\text{Eu}^{152,154}$. Сигнал от раствора $0,5 \text{ N HClO}_4$, облученного $\text{Eu}^{152,154}$, не изменялся заметно вообще в течение нескольких суток. Ни в первый момент внесения активности в раствор (рис. 2), ни в момент извлечения активности после облучения раствора (например, удаление источника с европием) не наблюдалось ни увеличения ни падения сигнала. Рис. 3 иллюстрирует постоянство сигнала от раствора $0,5 \text{ N HClO}_4$, облученного европием, в

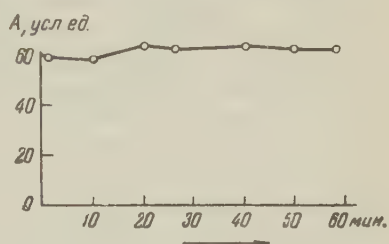


Рис. 3. Изменение $A/A_{\text{ст}}$ во времени после облучения «Внешнее» облучение раствора $0,5 \text{ N HClO}_4$ источником $\text{Eu}^{152,154}$

течение первого часа после удаления источника. Небольшое возрастание может быть отнесено к влиянию кислорода воздуха. Продувание воздуха через пробу с бидистиллятом, предварительно освобожденным от кислорода, приводило к незначительному (\sim на 10%) возрастанию сигнала воды: влияние магнитного момента кислорода μ на T_1 воды было отмечено Джилотто (?), обнаружившим, что эффективный магнитный момент кислорода $\mu_{\text{эф}}$ в воде равен $1,2 \mu_B$, где μ_B — магнетон Бора. Нагревание растворов (как содержащих активность, так и облученных изолированным источником) не приводило к заметному увеличению скорости уменьшения сигнала (величина сигнала падала при $\sim 90^\circ$ в среднем на 15%). После нагрева, иногда неоднократного, до 100° величина сигнала неизменно возвращалась к первоначальному значению.

Попытка объяснения рассмотренных результатов изменением основных величин, определяющих T_1 воды при отсутствии в ней парамагнитных примесей (число ядер в 1 см^3 , вязкость, расстояние между соседними протонами r_0 , вращательная подвижность) (8) не оправдывает себя. Действительно, как показывает приближенный расчет, в результате радиоллиза должно было бы произойти колоссальное сжатие раствора (r_0 должно уменьшиться более чем на четверть от первоначальной величины) или необъяснимое уменьшение вращательной подвижности молекул воды (в наших опытах не было отмечено увеличения вязкости, а число протонов, по существу, не менялось).

Поэтому нам представляется наиболее естественным объяснить обнаруженное явление возникновением при радиоллизе растворов парамагнитных частиц.

На основании известных соотношений, предложенных Козыревым и Ривкиндо (5), были вычислены концентрации парамагнетика, которые могут соответствовать наблюдающемуся укорочению T_1 в предположении, что его $\mu_{\text{эф}}$ лежит в пределах от 1 до $3 \mu_B$. Концентрации оказались лежащими в области $10^{-4} - 10^{-2} \text{ M}$ для растворов, содержащих S^{35} и Zr^{95} (№№ 2, 4, табл. 1), и в области 10^{-6} M и выше (в зависимости от дозы) для раствора, облученного источником с европием (градуировка была произведена по хлориду марганца с $\mu_{\text{эф}} = \mu_{\text{ст}} = 5,9 \mu_B$ (4)).

Поскольку величина $A/A_{\text{ст}}$ достигала спустя некоторое время посто-

янной величины (рис. 2, 1) большей единицы, можно предполагать, что часть парамагнитных частиц — стабильные соединения.

Однако вклад в уменьшение T_1 может быть сделан также и радикалами, образующимися в результате радиолиза воды и компонент раствора. О присутствии их и о величине этого вклада говорит, вероятно, ниспадающая часть рис. 2, 1. Ход этой кривой во времени указывает, по-видимому, на стабилизацию радикалов в растворе, о силе которой свидетельствует постоянство величины сигнала до и после нагревания растворов.

Вопрос о стабилизации радикалов качественно рассмотрен в ряде работ например (^{1,9}) и др. Недавно Голден (¹⁰) теоретически рассмотрел на основе различных моделей возможности стабилизации свободных радикалов в конденсированных фазах путем их изоляции друг от друга.

Используя параметры, характеризующие стационарные условия облучения, приведенные в работе J. L. Magee (¹¹), были оценены концентрации радикалов HO и HO_2 , которые могли бы образоваться в наших условиях; они оказались лежащими в той же области концентраций, которая была вычислена выше для гипотетических парамагнитных частиц (например, для дозы $D = 10^7$ фэр концентрация HO оказалась $6,4 \cdot 10^{-4} \text{ M}$, а концентрация HO_2 — $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$). Следует заметить, что при облучении чистой воды источником $\text{Eu}^{152, 154}$ нами не было отмечено роста отношения $A/A_{\text{ст}}$ вплоть до дозы $2 \cdot 10^4$ фэр. В то же время, раствор $1,91 \text{ M NaOH}$ уже при дозе 5000 фэр увеличил сигнал в 2,2—2,5 раза (дальнейшего увеличения — до дозы $4,3 \cdot 10^4$ фэр — более не наблюдалось).

Радиевый институт им. В. Г. Хлопина
Академии наук СССР

Поступило
21 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Z. G. Szabo, Acta Chim. Acad. Sci. Hung., **3**, 139 (1953). ² N. Bloembergen, R. V. Pound, E. M. Purcell, Phys. Rev., **73**, 679 (1948). ³ R. V. Pound, W. D. Knight, Rev. Sci. Instr., **21**, 219 (1950). ⁴ А. И. Ривкинд, ЖНХ, **2**, 1263 (1957). ⁵ Б. М. Козырев, А. И. Ривкинд, ЖЭТФ, **27**, 69 (1954). ⁶ К. К. Аглинцев, Экспериментальные основы дозиметрии и дозиметрическая аппаратура, Л., 1957. ⁷ G. Ghiarotti, L. Giulotto, Phys. Rev., **93**, 1241 (1954). ⁸ Э. Эндрю, Ядерный магнитный резонанс, М., 1957. ⁹ Н. Н. Семенов, О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности, М., 1954, стр. 154. ¹⁰ S. Golden, J. Chem. Phys., **29**, 61 (1958). ¹¹ J. L. Magee, J. Am. Chem. Soc., **73**, 3270 (1951).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л. Н. ГАЛЬПЕРИН, В. М. МАЛЬЦЕВ и П. Ф. ПОХИЛ

**ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАМЕН
КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 10 III 1959)

Важным параметром, знание которого необходимо для более глубокого понимания механизма горения пороховых систем, является температура факела пламени. Предлагаемая нами здесь методика измерения температуры пламени основана на методе сине-красного отношения (¹⁻³), который применен для пламен, излучающих сплошной спектр в видимой области. Как известно, для определения истинной температуры пламени порохового образца по его высоте необходимо знать относительные яркости двух длин волн (синей и красной) и поглощательную способность пламени для этих же длин волн.

В результате большого числа работ (⁴), проведенных в области физики электрического разряда в газах, оказалось возможным применить мощный постоянный источник света (ксеноновая лампа) для определения поглощательной способности пламени.

На блок-схеме (рис. 1) показана установка, с помощью которой была определена температура пламени порохового образца. Б — бсмба, предназначена для сжигания порохового образца при давлениях до 150 атм. Описание бомбы дано в работе (⁵). ТЛ — банд-лампа вольфрамовая служит для калибровки всей оптической системы; КЛ — ксеноновая лампа СВДШ-1000, предназначена для определения поглощательной способности пламени. ОС — оптическая система: коллиматор, бипризма, объектив, светофильтры. БФ — блок фотоумножителей, предназначен для преобразования световых потоков в электрические сигналы. МПО-2 — осциллограф, служит для регистрации сигналов с блока фотоумножителей. СБМ — система базисной метки, предназначена для регистрации момента подхода основания пламени к проекции щели коллиматора на пороховом образце. БП — блок питания.

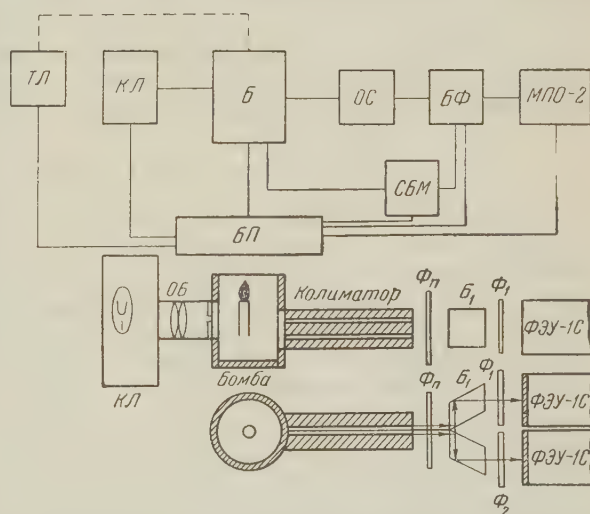


Рис. 1. Схема установки: Φ_1 — красный фильтр, Φ_2 — синий фильтр, Φ_p — платиновый фильтр, Б — бипризма, ОБ — объектив. Остальные обозначения даны в тексте.

Образец нитроглицеринового пороха Н диаметром 7 мм с бронированной поверхностью устанавливался в бомбе и поджигался с торца нихромовой проволокой. Напротив окна бомбы установлен коллиматор с двумя щелями — основной и вспомогательной. Коллиматор представляет собой стальное тело длиной 200 мм с двумя щелями (почерненными плоскостями) высотой 0,1 мм, шириной 6 мм. Оптическая система снабжена бипризмой, которая раздваивает рабочий поток. Оба световых потока, пройдя через соответствующие фильтры (синий и красный) попадают на блок фотоумножителя.

Коллиматорная щель выделяет в каждый момент времени узкую поверхность пламени,двигающуюся сверху вниз в плоскости, перпендикулярной к щели коллиматора. Таким образом, на блок фотоумножителей поступает

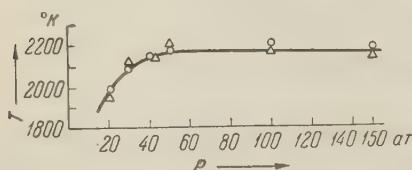


Рис. 2. График температуры факела пламени в зависимости от давления

световой поток, амплитуда которого во времени соответствует свечению определенной узкой линии поверхности пламени. Для того чтобы связать свечение пламени в определенных точках поверхности с изменением светового потока во времени, необходимо знать скорость горения порохового образца, скорость записи на шлейфном осциллографе и момент нахождения у щели определенной, заранее известной точки пламени. Зная расстояние между щелями (в нашем случае оно равно 20 мм) и время перемещения определенной точки пламени (например, вершины) от одной щели к другой, можно определить скорость горения пороха. Определение поглощательной способности пламени осуществляется путем просвечивания пламени мощной, постоянной по яркости ксеноновой лампой КЛ (рис. 1). Световой поток от ксеноновой лампы диафрагмировался и фокусировался на рабочую щель коллиматора.

Экспериментальные результаты

Из работы (6) известно, что горение пороха — процесс многостадийный. Начальная стадия горения осуществляется в реакционном слое конденсированной фазы пороха, в котором протекает суммарно экзотермический процесс разложения меньшей части конденсированного вещества и диспергирование большей части конденсированного вещества реакционного слоя. Таким образом, начальная стадия горения завершается образованием дымогазовой горючей смеси при горении пироксилинового пороха или образованием пародымогазовой смеси при горении нитроглицеринового пороха. Образующаяся дымогазовая смесь сгорает в зоне над поверхностью пороха в определенных условиях до конечных продуктов горения. Ширина зоны горения и полнота сгорания дымогазовой смеси зависят от давления окружающей атмосферы. Экспериментально установлено, что для нитроглицеринового пороха Н полнота сгорания достигается при давлении $P = 50\text{--}60$ кг/см² (в инертной атмосфере). С помощью разработанной установки нами измерена температура факела пламени нитроглицеринового пороха Н в зависимости от давления и результаты опытов показаны на рис. 2. Из полученных экспериментальных данных следует, что с повышением давления температура пламени увеличивается и достигает максимального значения $T = 2200^\circ\text{K}$ при давлении $P = 50$ кг/см².

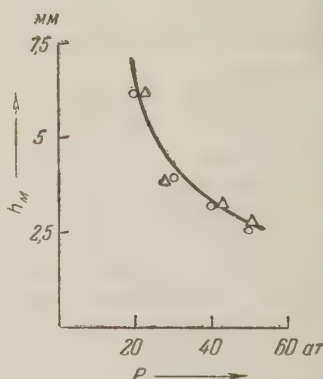


Рис. 3. График зависимости между расстоянием h_M и давлением

Дальнейшее повышение давления до $P = 150 \text{ кг/см}^2$ не приводит к изменению максимальной температуры пламени, что полностью согласуется с результатами исследования зависимости теплоты горения нитроглицеринового пороха Н от давления (⁶).

С ростом давления, как видно из рис. 3, расстояние между максимальной температурой пламени и поверхностью пороха значительно уменьшается, так например, при $P = 20 \text{ кг/см}^2$ $h_m = 6,2 \text{ мм}$ и при $P = 50 \text{ кг/см}^2$, когда достигается полнота горения пороха, расстояние становится равным $h_m = 2,7 \text{ мм}$.

Вопрос о том, по какому закону изменяется ширина зоны горения дымогазовой смеси h_m в области давлений выше $50\text{---}60 \text{ кг/см}^2$ экспериментально еще не исследован.

Разработанная установка позволяет также изучить поглощательную способность пламени по его высоте $a = f(e)$ в зависимости от давления. Полученные результаты приведены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что поглощательная способность дымогазовой смеси по высоте факела пламени различна. Так, например, при $P = 20 \text{ кг/см}^2$ поглощательная способность имеет минимальное значение $a_k = 0,4$, $a_c = 0,5$ на расстоянии от поверхности пороха $\sim 2 \text{ мм}$ (в точке k_0). Как ниже, так и выше точки k_0 поглощательная способность дымогазовой смеси увеличивается и в зоне В, соответствующей максимальной температуре пламени, имеет постоянное значение $a_k = 0,9$; $a_c = 0,97$. С увеличением давления зоны горения уменьшаются и поэтому при $P = 50 \text{ кг/см}^2$ минимальные значения $a_k = 0,7$ и $a_c = 0,8$ достигаются на расстоянии $\sim 1,2 \text{ мм}$, а в зоне, соответствующей максимальной температуре, поглощательная способность пламени такая же, как и при $P = 20 \text{ кг/см}^2$.

Полученные экспериментальные результаты представляют большой интерес и находятся в полном согласии с новым представлением о механизме горения порохов (⁶). Начальная стадия горения, протекающая в конденсированной фазе, завершается образованием дымогазовой горючей смеси, догорающей затем над поверхностью пороха при определенных условиях до конечных продуктов горения. Очевидно, что в момент образования дымогазовой смеси, вблизи поверхности пороха концентрация дыма (аэрозольных частиц) большая, поэтому степень поглощения света, проходящего от внешнего источника через дымогазовую смесь (факел пламени) значительная. В зоне дымогазовой смеси протекают гетерогенно-гомогенные реакции, и следовательно, весовая и частичная концентрация дыма по высоте зоны над поверхностью пороха уменьшается и соответственно увели-

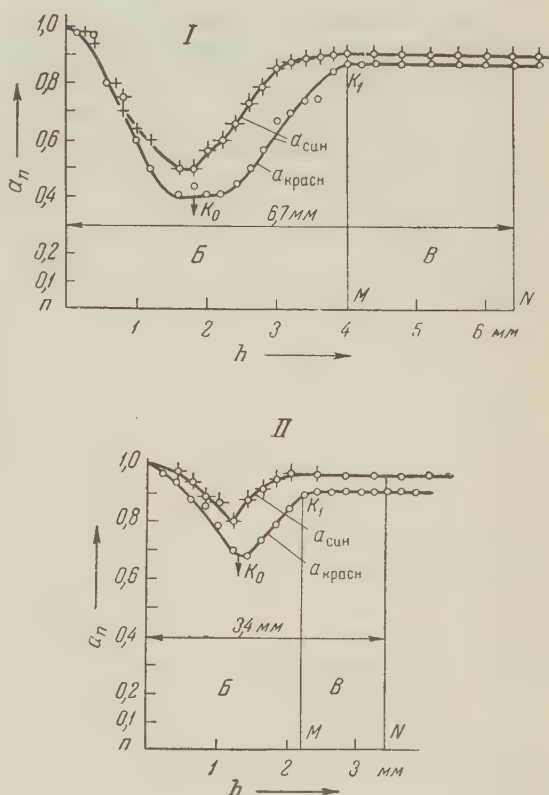


Рис. 4. График зависимости поглощательной способности дымогазовой смеси a_{II} по высоте пламени от давления. I—при $P = 20 \text{ атм.}$, II—при $P = 50 \text{ атм.}$

чивается прозрачность дымогазовой смеси. Одновременно в процессе горения увеличивается как температура по высоте зоны дымогазовой смеси, так и количество аэрозольных частиц, богатых углеродом (сажа). Этот фактор приводит к увеличению поглощательной способности пламени.

Оба же указанных фактора и обуславливают наличие максимума прозрачности пламени на определенном расстоянии от поверхности пороха, изменяющемся по абсолютной величине при различных давлениях.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
10 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н. Соболев, Тр. ФИАН, 7, 1956. ² Ф. П. Банди, Х. М. Стронг, Физические измерения в газовой динамике и при горении, глава IX, М., 1957. ³ А. Е. Кадышев, Сборн. статей, Измерение температур пламен, 1954. ⁴ Д. А. Гоухберг, Изв. АН СССР, ОТН, № 9 (1949). ⁵ П. Ф. Похил, Сборн. Физика взрыва, № 2, 1953. ⁶ П. Ф. Похил, Док. диссертация, М., 1954.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. И. ИВАНОВ-ОМСКИЙ и Б. Т. КОЛОМИЕЦ

**ЗАВИСИМОСТЬ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ОТ СОСТАВА
ТВЕРДОГО РАСТВОРА В СИСТЕМЕ InSb — GaSb**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 2 III 1959)

Ширина запрещенной зоны является одним из важнейших параметров вещества с точки зрения его полупроводниковых свойств. В твердых растворах замещения принято связывать зависимость ширины запрещенной зоны от состава со структурой энергетических зон исходных компонент раствора. Если последние имеют различную структуру, то изменение ширины запрещенной зоны при изменении состава сплава носит сложный характер. Подобный, случай например, имеет место в сплавах кремния с германием. Известны две попытки определить ширину запрещенной зоны в твердых растворах InSb с GaSb. Блэйкмор ⁽¹⁾ нашел, что результаты определения ширины запрещенной зоны по температурному ходу проводимости и эффекта Холла, а также из спектрального распределения фотопроводимости, можно представить выражением $\Delta E = 0,265 + + 1,1 \cdot 10^{-3} T$ эв, где ΔE — ширина запрещенной зоны при 0° К, а T — абсолютная температура. Измерения проводились на материале, который был приготовлен зонной плавкой сплава исходного состава 50 % InSb, 50 % GaSb. Зонная плавка твер-

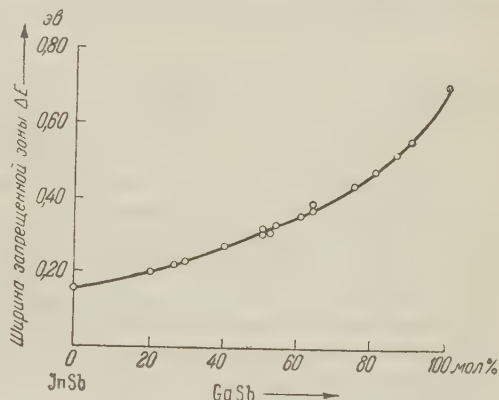


Рис. 1. Зависимость ширины запрещенной зоны от состава твердого раствора в системе InSb — GaSb

дого раствора приводит, как известно, к изменению его состава, тем не менее в указанной работе не содержится анализа состава и степени равновесности сплава, что весьма снижает ценность полученных результатов. С. Колм и др. ⁽²⁾, измерив оптическое поглощение на ряде сплавов системы InSb — GaSb, отмечают, что все сплавы, за исключением одного, были не однофазными, и вследствие этого не приводят количественных результатов.

Нами было произведено определение зависимости ширины запрещенной зоны от состава твердого раствора InSb с GaSb по измерению оптического пропускания. Сплавы готовились зонным выравниванием ⁽³⁾ и представляли собой однофазные крупнокристаллические слитки. Контроль гомогенности осуществлялся при помощи рентгеновского и микроструктурного анализов. По дебаеграммам рассчитывался параметр решетки сплавов, использовавшихся для приготовления образцов, и на основании выполнимости закона Вегарда в исследуемой системе ^(4,5) определялся состав сплава. Образцы шлифовались и полировались до толщины порядка 100 μ при площади 20—30 мм². Измерения пропускания производились на двухлучевом инфракрас-

ном спектрометре ИКС-14. Абсолютное значение пропускания для лучших образцов достигало 30 %. По кривым пропускания определялся край полосы поглощения в точке начала поглощения. Как видно из рис. 1, ширина запрещенной зоны монотонно и нелинейно возрастает с увеличением содержания GaSb в растворе. Полученные значения ширины запрещенной зоны ΔE (при комнатной температуре) можно сопоставить с шириной запрещенной зоны, определенной из электрических измерений (ΔE при 0°K), если известна зависимость ширины запрещенной зоны от температуры. Для сплава состава 50 % InSb, 50 % GaSb эта зависимость была определена по

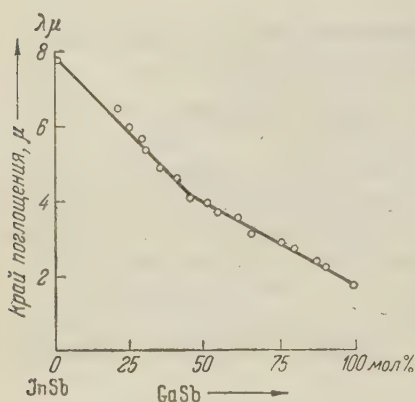


Рис. 2. Зависимость края полосы поглощения от состава твердого раствора в системе InSb — GaSb

смещению края полосы поглощения с температурой в области температур $77-300^\circ \text{K}$. Температурный коэффициент ширины запрещенной зоны dE/dT оказался равным $-4,5 \cdot 10^{-4}$ эв/град. Ширина запрещенной зоны, определенная нами из температурного хода проводимости и эффекта Холла, для указанного состава равна 0,45 эв, а по оптическим измерениям 0,33 эв. Нетрудно убедиться, что при учете полученного значения dE/dT величины оптической и термической ширины запрещенной зоны хорошо совпадают. Как видно из приведенных данных, наши результаты отличаются от результатов Блейкмора как по абсолютной величине ширины запрещенной зоны, так и по знаку и величине температурного коэффициента ширины запрещенной зоны.

Анализируя характер зависимости ширины запрещенной зоны от состава твердого раствора в системе InSb — GaSb, мы представили эту зависимость в другом масштабе. На рис. 2 по оси ординат отложены значения длин волн, соответствующие точно краю поглощения, что равносильно выбору гиперболического масштаба для значений ширины запрещенной зоны. Такая операция, как это видно из рис. 2, позволяет выявить различие в характере зависимости ширины запрещенной зоны от состава раствора в разных областях составов. Последнее обстоятельство может указывать, по аналогии со сплавами кремния с германием, на различие зонных структур исходных бинарных компонент InSb и GaSb. Авторы считают, что интерпретация полученных результатов должна быть отложена до более детального исследования системы InSb — GaSb и выяснения структуры энергетических зон исходных бинарных компонент.

Физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило
23 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. S. Blakemore, Canad. J. Phys., 35, 91 (1957). ² С. Колм et al., Phys. Rev., 108, 965 (1957). ³ В. И. Иванов-Омский, Б. Т. Коломиец, Физ. твердого тела, 1, 913 (1959). ⁴ Н. А. Горюнова, Н. Н. Федорова, ЖТФ, 25, 1339 (1955). ⁵ J. C. Woolley et al., Proc. Phys. Soc., B, 67, 1339 (1956).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С. М. КОГАРКО, М. И. ДЕВИШЕВ и В. Я. БАСЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНЫХ ЧАСТИЦ ПРОДУКТОВ
РЕАКЦИИ НА ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ В ПОТОКЕ**

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 20 I 1959)

Из теории горения известно, что механизм распространения пламени связан с передачей из зоны горения в исходную смесь тепла и активных частиц. Активные частицы, диффундирующие в исходную смесь, вступают в химическое взаимодействие с компонентами смеси и тем самым способствуют перемещению зоны реакции. Часть активных частиц, остающаяся в продуктах реакции, спустя некоторое время после завершения реакции рекомбинирует в молекулы и тем самым теряет свою активность.

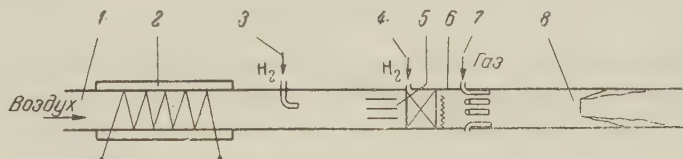


Рис. 1. Принципиальная схема опыта. 1 — труба; 2 — электрическая печь; 3, 4 — водородные диффузионные горелки; 5 — направляющее устройство; 6 — камера сгорания; 7 — смеситель; 8 — плохо обтекаемое тело

Целью нашей работы было исследование влияния активных частиц, находящихся в продуктах реакции и существующих в течение времени рекомбинации, на ускорение протекания химических реакций в процессах воспламенения и горения. Активные частицы, образующиеся в диффузионном пламени водорода, вводились в исследуемые процессы через разные промежутки времени после их образования.

Опыты проводились в потоке воздуха в трубе диаметром 45 мм, оканчивающейся камерой горения с сечением 70×40 мм. Принципиальная схема опыта приведена на рис. 1. В опытах по исследованию воспламенения одиночная порция исследуемого газа (пара) вводилась в поток горячего воздуха на разных расстояниях L за зоной диффузионного пламени водорода. В опытах по исследованию устойчивости пламени за плохо обтекаемым телом горючий газ через специальный смеситель вводился непрерывно. Подогрев воздуха осуществлялся посредством электрической печи и диффузионного пламени водорода, подаваемого через горелку 3 или 4. Такая комбинация позволяет сохранять одинаковой концентрацию O_2 и температуру при разных положениях диффузионной горелки. Во всех опытах зона диффузионного пламени заканчивалась до места впуска газа, что проверялось химическим анализом.

Спектроскопически методом линейчатого поглощения В. Н. Кондратьева⁽¹⁾ была измерена концентрация гидроксила OH на разных расстояниях от диффузионного пламени водорода (см. табл. 1). Из данных таблицы сле-

Коэффициенты поглощения и парциальные давления гидроксила

№№ опытов	Т-ра в °С	Коэффициенты поглощения				Парциальн. давл. ОН в мм, расчет
		Q_1 (7/2)	Q_1 (9/2)	Q_1 (13/2)	Q_1 (15/2)	

Расстояние от водородной горелки до точки измерения 250 мм

1	1010	0,11	0,08	0,08	0,1	0,095
2	1050	0,17	0,165	0,135	0,13	0,154
3	1065	0,11	0,14	0,16	0,14	0,14
4	1090	0,19	0,2	0,25	0,18	0,175

Расстояние от водородной горелки до точки измерения 650 мм (средн. значения)

5—7	1090	0,012	0,0233	0,0166	0,02	0,014
-----	------	-------	--------	--------	------	-------

дует, что концентрация гидроксила изменяется примерно в 10 раз при увеличении времени от 8 мсек до 35 мсек после начала истечения водорода из диффузионной горелки.

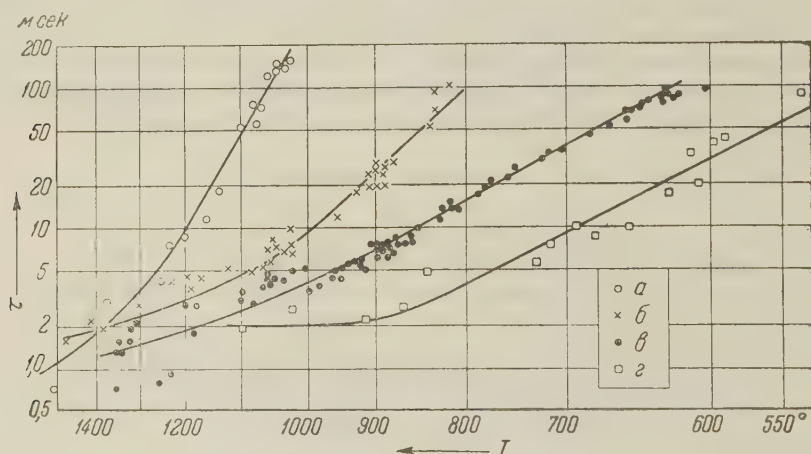


Рис. 2. Задержки воспламенения для метана при различных расстояниях L до диффузионной горелки. a — 650 мм, b — 400 мм, v — 250 мм, z — 150 мм

Исследование воспламенения метана в потоке нагретого воздуха показало, что в случае впуска газа на разных расстояниях от диффузионной горелки воспламенение происходит при разных температурах; при крайних положениях горелки начиная соответственно с 500 и 1000°. Аналогично меняются задержки воспламенения; максимальный диапазон изменения τ от 2 до 200 мсек при одинаковых температурах и концентрациях O_2 (рис. 2).

Примерно такие же результаты получены в опытах с n -бутаном, изооктаном и n -гептаном. Следует также отметить, что при разных начальных концентрациях активных частиц кажущаяся энергия активации сильно изменяется для одного и того же топлива, например для метана от 71 до 19 ккал/моль.

Результаты опытов по исследованию границ срыва пламени с плохо обтекаемого тела для городского газа (метана) и пропана для различных температур потока представлены на рис. 3 и 4. На оси ординат отложены скорости потока смеси в м/сек, по оси абсцисс состав смеси α для бедных смесей и $1/\alpha$ для богатых смесей.

Концентрация кислорода в смеси после частичного израсходования его в диффузионном пламени водорода при различных температурах потока, составляла (в процентах): при 25° 21; при 120° 20,2; при 230° 19,5; при 350° 18,8 при 480° 18 и при 550° 17,5.

Из графиков видно, что границы срыва пламени при малой концентрации активных частиц в смеси (диффузионное пламя находится на расстоянии $L = 3000$ мм) с повышением температуры расширяются сравнительно мало. В случае, когда диффузионное пламя находится на расстоянии

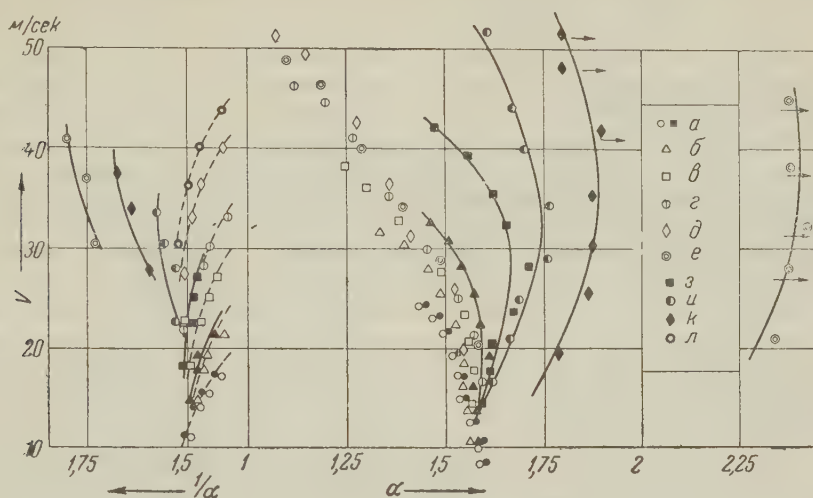


Рис. 3. Пределы срыва для городского газа при различных начальных температурах потока. $L = 3000$ мм: а — 25° , две серии опытов (без подогрева); б — 120° , в — 230° — 350° , д — 480° , е — 550° ; $L = 200$ мм; ж — 120° , з — 230° , и — 350° , к — 480° , л — 550°

$L = 200$ мм от места впуска исследуемого газа, границы срыва пламени значительно расширяются с повышением температуры как для богатых,

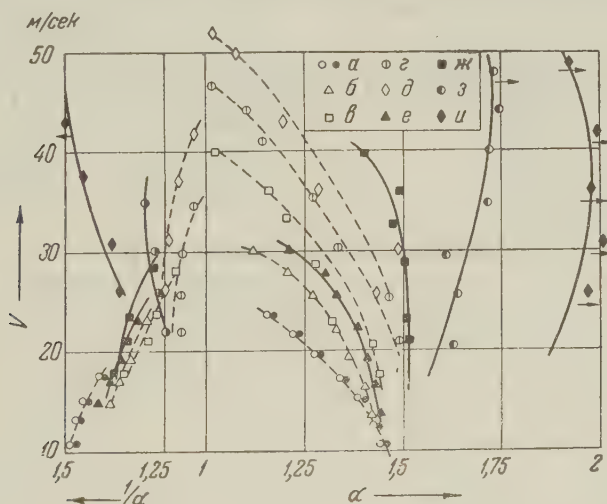


Рис. 4. Пределы срыва для пропана при различных начальных температурах потока. $L = 3000$ мм: а — 25° , две серии опытов (без подогрева); б — 120° , в — 230° , г — 350° , д — 480° . $L = 200$ мм; е — 120° , ж — 230° , з — 350° , и — 480°

как и для бедных смесей. При повышенной концентрации активных частиц в данной температуре подогрева смеси с увеличением скорости потока наблюдаемый эффект увеличивается.

Нам представляется, что результаты настоящего исследования могут быть наилучшим образом поняты исходя из цепной теории, развитой И. Н. Семеновым ⁽²⁾ и его школой.

Как показали наши измерения, за диффузионным пламенем водорода имеется повышенная концентрация гидроксила (а следовательно, и других активных частиц, например атомов О и Н), которая быстро уменьшается с течением времени. Поэтому резкое, почти на два порядка, сокращение длительности периода индукции при одной и той же температуре смеси объясняется увеличением общей скорости химических реакций при наличии в смеси большой концентрации активных частиц. Для одного и того же периода индукции это приводит к снижению температуры воспламенения с 1000 до 500°. Снижение кажущейся энергии активации при увеличении концентрации активных частиц, вероятно, связано с уменьшением участия в суммарном химическом процессе реакций самозарождения, требующих больших энергий активации.

Существенное улучшение пределов устойчивого горения при наличии в смеси активных частиц, по-видимому, является следствием сокращения времени, необходимого для воспламенения на границе рециркуляционной зоны. Следует иметь в виду, что после поступления горючего газа в поток воздуха в смеси еще до плохо обтекаемого тела под воздействием этих частиц начинают развиваться без заметного повышения температуры химические процессы.

С повышением температуры смеси эффект улучшения устойчивости возрастает, так как увеличивается начальная концентрация активных частиц, меньшая доля их гибнет вследствие рекомбинации, а большая их часть вступает в химические реакции с горючим и окислителем смеси. При температуре смеси 480—550° наблюдается самовоспламенение в потоке как в случае городского газа, так и в случае пропана в пространстве между местом подачи горючего газа в поток воздуха и плохо обтекаемым телом, т. е. скорость химических реакций в смеси достигает такого значения, что воспламенение происходит до момента принудительного ее зажигания на плохо обтекаемом теле. В опытах при дальнейшем расположении горелки никогда не наблюдалось воспламенения смеси в той же области.

Из анализа полученного экспериментального материала следует, что добавка в смесь продуктов реакции с активными частицами, образующимися при горении в зоне реакции пламени, существенно улучшает процессы воспламенения и горения газов в потоке воздуха.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
29 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Н. Кондратьев, М. С. Зискин, ЖЭТФ, 6, 1093 (1936).
² Н. Н. Семенов, Цепные реакции, 1934.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. А. КРотова и Л. П. Морозова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В АДГЕЗИИ
ПОЛИМЕРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 12 XII 1958)

В предыдущих наших работах ⁽¹⁾ указывалось, что адгезионная связь между полимерами может возникать в результате двух различных процессов: 1) образования двойного электрического слоя на поверхности раздела полимер — полимер и 2) диффузионных процессов в зоне контакта.

Последнее положение требует уточнения, так как двойной слой на поверхности раздела образуется в результате перехода электронов из одной фазы в другую, что также может считаться диффузионным процессом ⁽²⁾. Однако этот процесс имеет свои особенности, так как он приводит к образованию двойного электрического слоя. При этом граничные слои одной фазы обедняются электронами, а граничные слои другой ими обогащаются, что имеет следствием возникновение межфазного скачка потенциала. Граница раздела и двойной слой длительно сохраняются. Собственно говоря, наличие границы раздела и является специфической особенностью, характерной для случая 1).

В случае 2) граница раздела двух полимеров оказывается сильно размытой, так что уже следует говорить не о границе раздела, а о зоне контакта. Размывание происходит не только в результате диффузии сегментов цепей и цепей макромолекул, но и в результате перехода целых структурных комплексов из одной фазы в другую.

В одной из наших предыдущих работ ⁽³⁾ давалась классификация исследованных систем полимер — полимер по типу их адгезионной связи. При этом электростатический тип адгезионной связи характеризуют следующие особенности поведения полимеров при нарушении этой связи.

1. Электризация поверхностей после их разъединения, причем поверхность одного полимера заряжается положительно, а поверхность второго — отрицательно (первая поверхность соответствует обкладке двойного слоя, обедненной электронами, вторая — обкладке его, обогащенной электронами). Если эксперимент производится в вакууме, то с поверхности, несущей отрицательный заряд, наблюдается эмиссия электронов.

2. Зависимость адгезии, т. е. работы отрыва A от скорости, выражена обычно очень резко для систем с электростатическим типом адгезионной связи.

Некоторые авторы предполагают ⁽⁴⁾, что в случае аутогезии, т. е. при соединении двух объемов одного и того же материала в зоне контакта, разыгрываются только процессы диффузии макромолекул и их сегментов, приводящие, в конечном счете, к восстановлению структуры данного вещества в зоне контакта. Однако, как показывают наши новые экспериментальные данные, и в этом случае в первоначальной стадии контакта имеет место образование двойного электрического слоя, так как поверхности, разъединяемые после нескольких минут контакта, оказываются разноименно заряженными. То же имеет место и в отношении адгезии разнородных поверхностей, образованных неполярными молекулами близкого строения.

Как в этом, так и в предыдущих случаях для определения знака заряда мы пользовались ламповым электрометром (рис. 1). В анодную цепь радиолампы 6К7 включена неоновая лампочка, яркость свечения которой регулируется потенциометром. Питание радиолампы осуществляется от сети 220 в посредством понижающего трансформатора, выпрямителя АВС-7-ЗП и электролитического конденсатора.

К сети управляющей лампы припаяна металлическая пластинка. При поднесении к пластинке отрицательно заряженной поверхности, вследствие электростатической индукции на пластинке концентрируются положительные заряды, а на сетке появляется отрицательный заряд, который запирает лампу: ток в цепи прекращается и неоновая лампочка гаснет. При нахождении положительного заряда вблизи металлической пластинки электрометра на ней концентрируются отрицательные заряды. Мгновенное удаление от металлической пластинки положительно заряженной поверхности вызывает перераспределение электронов, что имеет следствием временное потухание неоновой лампочки.

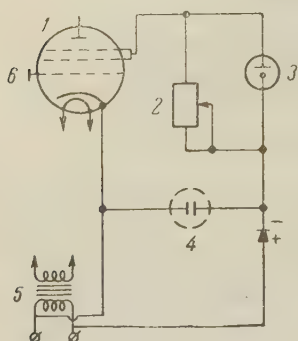


Рис. 1. Ламповый электрометр для определения знака заряда разъединенных при отрыве поверхностей полимеров. 1 — радиолампа, 2 — потенциометр, 3 — неоновая лампочка, 4 — емкость, 5 — понижающий трансформатор, 6 — пластинка, к которой подносится исследуемый заряд, припаянная к управляющей сетке

Опыт показывает, что электризация [поверхностей после отрыва представляет собою совершенно общее для всех случаев контакта полимеров явление. Это согласуется с представлениями Гельмгольца о возникновении двойного электрического слоя на границе раздела; при отрыве обкладки двойного слоя несут противоположные по знаку заряды.

В условиях получения клевого соединения первоначально возникший двойной электрический слой у некоторых систем может сохраняться неопределенно долго, у других же он исчезает в результате процессов диффузии.

Факторами, способствующими исчезновению двойного слоя и размыванию зоны контакта, являются повышение температуры и давления. Степень размывания зоны контакта при различных температурах была исследована нами на системе гуттаперча — парафин обычными методами микроскопирования.

Для исследования размывания границы раздела были приготовлены образцы системы парафин — гуттаперча при различных температурах. Пленка гуттаперчи заливалась на стекло, обработанное кремнеорганическим соединением (алкилхлорсиланом) для облегчения последующего снятия пленки со стекла. Пластина парафина готовилась отдельно выливанием расплавленного парафина на холодную поверхность стекла, после чего накладывалась на высушенную пленку гуттаперчи, и образец помещался в воздушный термостат, где выдерживался определенное время (15 мин.) при различных температурах. В результате гуттаперча и парафин сплавлялись. После остывания образца из него готовились с помощью замораживающего микротомы микросрезы. Степень размывания зоны контакта определялась на препаратах с помощью компаратора МИР-12 (табл. 1).

Таблица 1

Размывание границы раздела парафин — гуттаперча в зависимости от температуры

Темп. контакта в °С	Толщина пленки гуттаперчи до контакта в м	Толщина пленки гуттаперчи в контакте с парафином в м	Глубина проникновения гуттаперчи в парафин в м
60	147	266	119
70	137	296	160
80	150	315	165



Рис. 2. Желатина — поливиниловый спирт. Люминофор (тропеолин) окрашивает полимеры: желатину (1) и поливиниловый спирт (2) — с различной интенсивностью, причем видна четкая граница раздела (3); 4 — фон

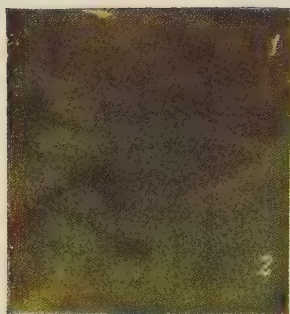


Рис. 3. Гуттаперча — парафин. Образец подвергался термической обработке при 60° . Перемешивание компонентов. Видны грубые включения парафина (1) в гуттаперче (2)



Рис. 4. Аутогезия натурального каучука. Исчезновение границы раздела путем диффузного размывания, 1 — окрашенный люминофором объем, 2 — неокрашенный объем, 3 — фон

Образец гуттаперча — парафин, выдерживавшийся при температуре 50°, имеет четкую границу раздела. В пределах ошибок опыта (т. е. с точностью до 1 μ) толщина пленки гуттаперчи до контакта равнялась толщине пленки в соединении.

После отрыва на поверхностях наблюдается остаточный заряд: отрицательный на парафине и положительный на гуттаперче. Повышение температуры, при которой выдерживается образец, вызывает размывание зоны контакта (на глубину десятков микрон) вследствие диффузии гуттаперчи в парафин; адгезия системы увеличивается. При отрыве разрушение происходит по парафину, разъединяемые поверхности оказываются незаряженными. Размывание зоны контакта на глубину до 160 μ , соответствующее обработке образца при 80°, говорит о диффузии структурных элементов: цепей полимера и их комплексов. Таким образом, уже обычные методы микроскопического исследования дают достаточно наглядное представление о характере процессов, протекающих в зоне контакта. Еще большие возможности для исследования подобных процессов может представить использование методов люминесцентного анализа микроскопических срезов.

В настоящее время имеется обширная литература в этой области (⁵). Как известно, широкие применение методы люминесцентного анализа нашли в биологии и медицине, где наблюдение вторичной, искусственно внесенной флуоресценции позволяет учитывать, а в некоторых случаях — делать видимой миграцию вещества внутри живого организма. Добавление ничтожнейших количеств флуоресцирующего вещества в жидкость дает возможность по свечению следить за распространением жидкости в твердой среде. Этим методом исследуется, например, глубина проникновения дубителя в поры кожи, водопроницаемость бумаги, обнаруживаются скрытые трещины в горных породах и стенах зданий.

Наши предварительные поисковые опыты имели целью установить, что может дать люминесцентный анализ для исследования диффузионных процессов в зоне контакта. Для этого люминофор (тропеолин) вводился в ничтожном количестве в растворитель (разбавление 1 : 20 000). Опыт показывает, что в таких количествах тропеолин окрашивает применявшиеся нами растворители: воду, этилацетат, хлороформ и бензол. Наиболее интенсивно окрашивается вода, наименее интенсивно — бензол. Эти растворители применялись затем для растворения исследуемых полимеров, после чего приготавлился двуслойный образец из двух полимеров, один из которых был подкрашен люминофором. Образцы готовились следующим образом: на пленку неподкрашенного полимера, отлитую на гидрофобном стекле, наносился раствор подкрашенного полимера. После удаления растворителя и по прошествии (нескольких суток) из образцов приготавливались микроскопические препараты, исследуемые и фотографируемые затем в у.-ф. свете. Источником лучей служила лампа СВША-250, наблюдения производились в биологическом микроскопе конструкции ГОИ, с микрофотонасадкой от фотоаппарата «Зоркий». При фотографировании использовались пленка и фотобумага «Агфа колор» (⁶). Параллельно проводились исследования заряда отрываемых поверхностей и характера отрыва на контрольных образцах. Были исследованы следующие системы:

1. Желатина — поливиниловый спирт. Оба полимера растворимы в воде. Люминофор вводится в раствор поливинилового спирта, наносимый на сухую пленку желатины, в дальнейшем растворитель удаляется. Рассмотрение микросрезов показывает, что люминофор диффундирует в желатину. Цвет люминесценции в обоих полимерах одинаков, но интенсивность разная, причем отчетливо видна граница раздела (рис. 2), следовательно полимеры не смешиваются. При отрыве поливинилового спирта от желатины поверхность его заряжена отрицательно, в то время как поверхность желатины заряжается положительно. Тип отрыва адгезионный.

2. Перхлорвинил — гуттаперча. На пленку гуттаперчи (в виде β -формы) наносится раствор перхлорвинила в этилацетате. На микросрезях на-

блюдается та же картина, что и выше. Люминофор, введенный в растворитель перхлорвинила — этилацетат, диффундирует в пленку гуттаперчи. Наблюдается различие интенсивностей окрашивания двух полимеров и наличие границы раздела. При отрыве заряды поверхностей разделяются: пленка перхлорфинила заряжается положительно, пленка гуттаперчи — отрицательно. Тип отрыва адгезионный.

3. Гуттаперча — парафин. На пластинку парафина наносится раствор гуттаперчи в хлороформе, окрашенный люминофором. Для перевода гуттаперчи в β -форму образец прогревается при температуре 60° в течение 15 мин. На микросрезам (рис. 3) можно видеть перемещение соприкасающихся участков полимеров и исчезновение границы раздела между двумя объемами, что хорошо наблюдается вследствие того, что люминофор, адсорбируясь, окрашивает в разные цвета гуттаперчу и парафин. На рис. 2 можно видеть отдельные вкрапления парафина в гуттаперче, окрашенные в красный цвет, тогда как гуттаперча окрашена в зеленый цвет. Таким образом, пользуясь люминесцентным методом, можно получить более ясное представление о характере исследуемых процессов. При отрыве гуттаперчи от парафина не наблюдается наэлектризовывания вновь образованных поверхностей. Тип отрыва когезионный.

4. Натуральный каучук — натуральный каучук (случай аутогезии). На свободную от растворителя пленку каучука (смокед шитс) наносится раствор этого же каучука в бензоле с добавлением люминофора. На микросрезам наблюдается картина диффузионного размывания границы раздела между двумя соприкасающимися объемами (рис. 4) до полного ее исчезновения.

Испытание контрольных образцов обнаруживает отсутствие заряда у отрываемых поверхностей и когезионный тип отрыва. Результаты описываемых экспериментов позволяют заключить о перспективности применения метода люминесцентного анализа к исследованию процессов, протекающих в зоне контакта двух полимеров.

Для исследования диффузионных процессов в твердых средах, в частности для исследования диффузионных покрытий на металлах, в настоящее время большое применение находит метод меченых атомов (⁷). Однако вряд ли этот метод может быть с успехом применен к исследованию взаимной диффузии двух полимеров в зоне контакта. Прежде всего, пометку полимера необходимо осуществлять в процессе его синтеза, что сопряжено с рядом неудобств и с вредностью подобного рода работ. Затем не на всяком полимере может быть осуществлена операция пометки. Метод же пометки полимера люминофором мог бы в некоторых случаях с успехом заменить метод меченых атомов, в частности, в целях исследования процессов, имеющих место при контактировании полимеров.

Авторы приносят благодарность Т. А. Кротовой и М. Я. Вольперту за помощь в работе и члену-корреспонденту АН СССР Б. В. Дерягину за ценные советы и указания.

Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
9 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. П. Морозова, Н. А. Кротова, ДАН, 115, 747 (1957); Колл. журн., 20, 59 (1958). ² S. M. Skinner, S. R. Savage, I. E. Rutzler, Appl. Phys., 24, 4, 438 (1954). ³ Л. П. Морозова, Исследование характера адгезионной связи полимеров, Кандидатская диссертация, 1958. ⁴ С. С. Воюцкий, Ю. Л. Марголина, Усп. хим., 18, 449 (1947); С. С. Воюцкий, В. М. Замазий, Колл. журн., 15, 407 (1953); ДАН, 81, 64 (1951); С. С. Воюцкий, Б. В. Штарх, Колл. журн., 16, 3 (1954); ДАН, 90, 573 (1953); Колл. журн., 18, 404 (1956); С. С. Воюцкий, А. И. Шаповалова, А. П. Писаренко, Колл. журн., 18, 485 (1956); Колл. журн., 19, 274 (1957). ⁵ М. А. Константинова-Шлезингер, Люминесцентный анализ, Изд. АН СССР, 1948. ⁶ Д. И. Иванов, Цветное фотографирование, Л., 1957. ⁷ Н. С. Горбунов, Диффузионные покрытия на железе и стали, Изд. АН СССР, 1958.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Е. Н. ХАРЬКОВСКАЯ, член-корреспондент АН СССР Г. К. БОРЕСКОВ
и М. Г. СЛИНЬКО

**КИНЕТИКА РЕАКЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДА
С КИСЛОРОДОМ НА ПЛАТИНЕ**

Кинетика реакции взаимодействия водорода с кислородом изучалась многими исследователями, но результаты их измерений противоречивы. Большинство исследований проводилось в узком интервале изменения концентраций водорода и кислорода статическими методами (¹⁻³), исключающими возможность измерения каталитической активности в стационарных условиях, или в проточных установках (⁴⁻⁵), не позволяющих точно измерить скорость реакции из-за трудности соблюдения изотермичности вдоль слоя катализатора и наложения процессов массопередачи.

В настоящей работе для измерения каталитической активности платины в отношении реакции взаимодействия водорода с кислородом в широком интервале изменения концентраций был использован стационарно-циркуляционный метод (⁶⁻⁷), позволяющий непосредственно измерять скорость реакции при изотермических условиях, в стационарном состоянии и отсутствии искажающего влияния гидродинамики.

Платина применялась в виде проволоки диаметром 0,1 мм состава (в %) Pt — 99,88; Pd — 0,03; Ir — 0,06. Истинная поверхность проволоки, измеренная электрохимическим методом (⁸), составляла 51 см².

Опыты проводились в интервале температур 20—180°, при давлении от 50 до 750 мм рт. ст. и различных составах исходной реакционной смеси: водород, азото-водородные смеси, азот, азото-кислородные смеси, кислород.

Концентрация гремучей смеси в установке не превышала 7%. Скорость циркуляции равнялась 400—1100 л/час в зависимости от состава реакционной смеси.

Процентное содержание водорода и кислорода в газовой среде (P) рассчитывалось по увеличению давления в системе, по сравнению с исходным до начала впуска реакционной смеси, а количество сжигаемой гремучей смеси в кубических сантиметрах в час (ω) — по количеству прошедшего электричества в электролизере.

Результаты измерений

Для проверки влияния процессов переноса вещества и тепла измерялась разность температур между газом и катализатором и варьировалась скорость циркуляции от 250—1100 л/час. Оказалось, что температура катализатора не отличается от температуры газового потока и скорость реакции не зависит от скорости циркуляции газового потока, что указывает на отсутствие влияния процессов переноса на скорость реакции.

Влияние парциального давления азота. Широкое изменение соотношения концентраций водорода и кислорода при сохранении условий взрывобезопасности достигалось вариацией начальных парциальных давлений H_2 , O_2 и N_2 .

В результате проведенных измерений установлено, что скорость реакции не зависит от парциального давления N_2 и определяется только парциальными давлениями H_2 и O_2 .

Определение порядка реакции. На рис. 1 представлены результаты измерений в газовых смесях с избытком H_2 . Как видно из рисунка, в температурном интервале $50-180^\circ$ скорость реакции прямо пропорциональна концентрации O_2 . Энергия активации составляет 7800 кал/моль.

Для газовых смесей с большим избытком H_2 большое значение имеет удаление из платины O_2 , путем предварительной обработки ее H_2 при температуре 600° ($^\circ$). Платина, не обработанная H_2 , малоактивна, и при низких температурах порядок реакции по O_2 становится близким к нулю. Повышение температуры предварительной обработки платины H_2 до 900° в течение 3 и 6 час. дает увеличение активности в 2—2,5 раза, которая (за 2,5—3 часа) снижалась до стационарного значения.

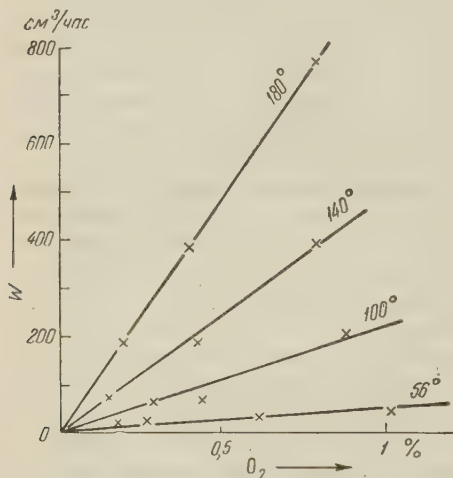


Рис. 1. Зависимость скорости реакции окисления водорода от концентрации кислорода в газовых смесях с большим избытком водорода

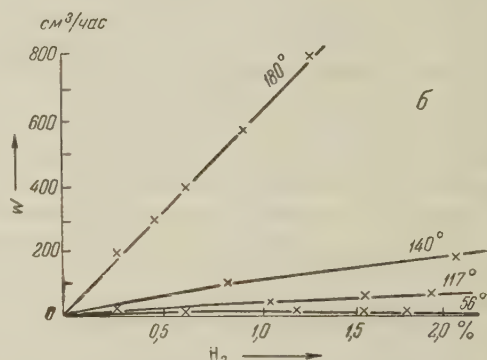
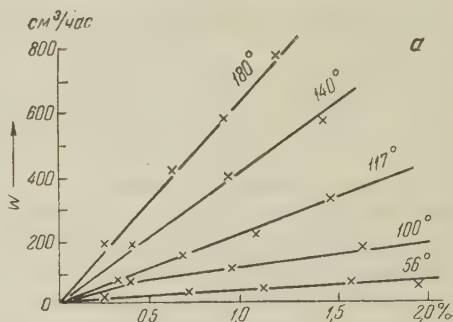


Рис. 2. Зависимость скорости реакции окисления водорода от концентрации водорода в газовых смесях с большим избытком кислорода: а — в области высокой активности, б — в области низкой активности

На рис. 2 представлены результаты измерений в газовых смесях с большим избытком O_2 . При быстром переходе от высоких (180°) к низким температурам ($100-56^\circ$) наблюдается высокая активность платины и первый порядок реакции по H_2 (рис. 2а). После длительного перерыва в работе и кратковременной откачки при низких температурах платина мало активна. Порядок реакции по водороду снижается до 0,1—0,2 (рис. 2б). Скорость реакции при этом уменьшается в 10—15 раз. Энергия активации при быстром переходе от 180° к более низким температурам мала и равна 2400—4600 кал/моль. В области низкой активности и при переходе от низких температур к высоким энергия активации составляет 8000 кал/моль.

При стехиометрическом соотношении водорода к кислороду (рис. 3) и снижении температуры до 100° сохраняется первый порядок по сумме парциальных давлений H_2 и O_2 . При более низких температурах порядок реакции снижается до 0,2. Энергия активации в области первого порядка составляет 6700 кал/моль.

Зависимость скорости реакции от концентрации водорода и кислорода. На рис. 4 приведены результаты измерений величины скорости реакции при 180° в смесях, с избытком H_2

P_{H_2} от 760 до 4,1 мм рт. ст. при постоянном парциальном давлении кислорода P_{O_2} 2,05 мм, и в смесях с избытком кислорода [P_{O_2} 2,05—760 мм при постоянном давлении водорода P_{H_2} 4,1 мм.)

При снижении температуры от 80 до 120° общий характер зависимости скорости реакции от парциальных давлений H_2 и O_2 сохраняется, но максимум активности несколько смещается в область большого избытка O_2 (P_{O_2} 160 мм).

Окисление дейтерия. Проведенные измерения скорости взаимодействия дейтерия с O_2 показали, что в газовых смесях с большим избытком O_2 в области высокой активности соотношение скорости окисления H_2 и дейтерия равно 1,3, в области низкой активности — 2,0. При стехиометрическом соотношении H_2 и O_2 соотношение скорости окисления H_2 и дейтерия равно 1,5 (при 100°) и 1,98 — при 180°.

Соотношение скорости взаимодействия O_2 с H_2 и D_2 , в условиях большого избытка H_2 равно 1,6 (при 180°) и 2 (при 100°). Из этого следует, что в активный комплекс лимитирующей стадии процесса взаимодействия H_2 с O_2 должен входить водород.

Обсуждение результатов. Полученные результаты исследования кинетики взаимодействия водорода с кислородом не могут быть обобщены на основе предполагавшихся ранее кинетических уравнений. Так, уравнение Лэнгмюра

$$\omega = \frac{k_1 k_2 P_{O_2} P_{H_2}}{k_1 P_{H_2} + k_2 P_{O_2}},$$

хотя и объясняет первый порядок по одному из компонентов при избытке второго, но не отражает действительной зависимости скорости реакции от парциальных давлений H_2 и O_2 при широком изменении состава газа, и не объясняет уменьшение порядка реакции при понижении температуры.

Рис. 4. Зависимость скорости реакции окисления водорода от концентрации водорода и кислорода при 180°

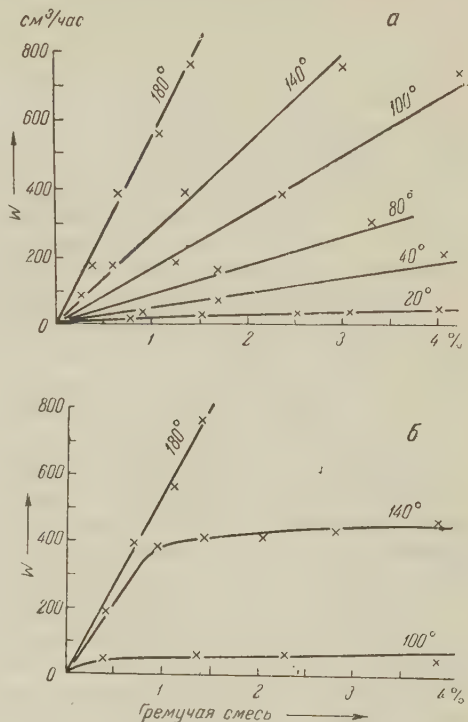
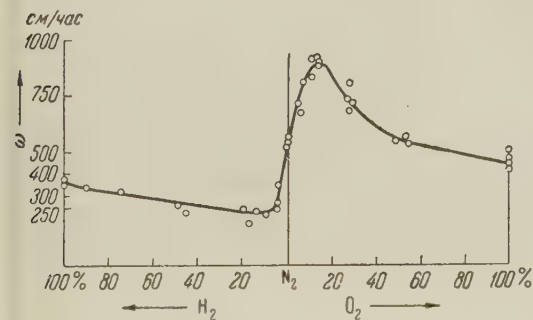


Рис. 3. Зависимость скорости реакции окисления водорода от концентрации гремучей смеси при стехиометрическом соотношении водорода к кислороду: а — область высокой активности, б — область низкой активности

Учет влияния неоднородности приводит к аналогичному уравнению, но содержащему дробные показатели. Это уравнение также не может описать всю совокупность экспериментальных данных, в частности наличие экстремумов при изменении концентрации водорода и кислорода, а также уменьшение порядка реакции при снижении температуры.

Экспериментальные данные указывают на сложность каталитического процесса и требуют для своего объяснения учета различных форм хемисорбции реагирующих газов и изменения свойств катализатора в результате воздействия на него реакционной смеси (¹⁰).

Для смесей, содержащих избыток H_2 , первый порядок по O_2 и слабая зависимость скорости реакции от давления H_2 позволяют предположить, что лимитирующей стадией реакции является взаимодействие между хемисорбированным атомарным водородом, покрывающим всю поверхность, и молекулярным кислородом. Вступление последнего в реакцию облегчается взаимодействием с d -электронами катализатора (адсорбция типа С по Dowden (¹¹)). Снижение каталитической активности платины при неполном предварительном удалении кислорода обусловлено прочно связанными атомами кислорода, расположенными, вероятно, под поверхностью платины (тип В) и связывающими d -электроны металла.

При уменьшении избытка водорода и переходе к стехиометрическим смесям часть поверхности платины освобождается от водорода и становится возможной хемисорбция кислорода с диссоциацией на атомы (тип А). В этой области концентраций, реакция протекает в результате взаимодействия с водородом атомарно адсорбированного кислорода, что требует меньшей энергии активации и обуславливает увеличение скорости реакции.

При избытке кислорода возможны два стационарных режима, отличающиеся величиной скорости реакции и зависимостью ее от концентраций компонентов. Характер перехода между режимами быстрого и медленного протекания реакции позволяет предположить, что быстрая реакция связана с цепным процессом, в котором участвуют богатые энергией, эндотермические образования, регенерируемые в процессе реакции. При снижении температуры и откачке эти лабильные образования исчезают и сохраняется лишь сравнительно прочно связанный кислород, взаимодействие которого с водородом осуществляется медленно и требует повышенной энергии.

Снижение скорости с увеличением давления кислорода при режиме быстрого протекания реакции, по-видимому, связано с частичной блокировкой поверхности платины прочно связанным кислородом.

Научно-исследовательский
физико-химический институт
им. Л. Я. Карпова

Поступило
30 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. Langmuir, Trans. Farad. Soc., 17, 621 (1922). ² С. З. Рогинский, В. С. Розинг, Уч. зап. Ленинградск. ун-в., 5, 38 (1939). ³ С. З. Рогинский, О. В. Крылов, ДАН, 91, 1353, № 6 (1953). ⁴ W. A. Bone, R. V. Wheeler, Proc. Roy. Soc., A 77, 146 (1906). ⁵ С. Я. Пшежецкий, М. Л. Влаларен, ЖФХ, 14, 353 (1950). ⁶ Б. К. Боресков, М. Г. Слинько, А. Г. Филиппова, ДАН, 92, № 2, 353 (1953). ⁷ М. И. Темкин, С. Л. Киперман, Л. И. Лукьянова, ДАН, 74, № 4, 763 (1950). ⁸ Т. И. Борисова, М. А. Проскурин, Acta Physicochim. URSS, 4, 819 (1936). ⁹ Г. К. Боресков, М. Г. Слинько, В. С. Чесалова, ЖФХ, 30, 2787 (1956). ¹⁰ Г. К. Боресков, ЖФХ, 32, 2739 (1958). ¹¹ D. A. Dowden, Bull. Soc. chim. Belges, 67, 429 (1958).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. ШЕЛУДКО и Д. ЕКСЕРОВА

ОБ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ОТТАЛКИВАНИИ
МЕЖДУ ДИФфуЗНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ
В ДВУСТОРОННИХ ЖИДКИХ ПЛЕНКАХ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 7 III 1959)

Исследования Барча ⁽¹⁾ по устойчивости пен указывают на влияние электролитов на продолжительность жизни пен, стабилизированных низкомолекулярными пенообразователями, и дают основание предполагать, что в двусторонних водяных пленках имеет место отталкивание между диффузными электрическими слоями у их поверхности. Полученные этим автором экспериментальные данные показывают, что устойчивость пен понижается при повышении концентрации электролита и величина концентраций, влияющих на устойчивость, того же порядка, что и концентрации, вызывающие быструю коагуляцию у лиофобных коллоидов; наименьшие концентрации, понижающие устойчивость пен, зависят от валентности активного иона приблизительно так, как этого требует правило Шульце — Гарди.

Б. В. Дерягин и Титиевская в ⁽²⁾ впервые установили прямыми измерениями отталкивание диффузных слоев в изолированной пенной пленке из разбавленных растворов ундециловой кислоты в воде и вычислили величину потенциала под поверхностью раствора, соответствующую этому отталкиванию; они получили вполне приемлемые значения порядка 50—80 мв. При этих исследованиях, однако, не велся точный контроль содержания электролита в растворе, что привело к некоторой ненадежности при вычислении потенциала ϕ_0 слоя Гуи. В связи с этим, мы сочли полезным провести новые исследования при оптимальных условиях для проверки теории электростатического отталкивания слоев Гуи. Такая проверка теории интересна также потому, что в тонких слоях можно ожидать и других дополнительных давлений, которые должны суммироваться с расклинивающим давлением, обязанным диффузным электрическим слоям.

Наиболее полная теория электростатического расклинивающего давления, предложенная Б. В. Дерягиным и Л. Д. Ландау ⁽³⁾ (изложена Овербеком в книге Кройта ⁽⁴⁾), дает для этого давления выражение

$$P_{эл} = 2\pi nkT \left(\operatorname{ch} \frac{e}{kT} \phi_\alpha - 1 \right) \quad (1)$$

для 1—1-валентного диссоциированного электролита с концентрацией n молекул в 1 см³. Здесь k — больцмановская константа, T — температура, e — заряд иона, ϕ_α — потенциал в середине пенной пленки.

Потенциал ϕ_α можно вычислить, если предположить, что он равен удвоенному значению потенциала на расстоянии $h/2$ (h — толщина пленки) от поверхности безграничной жидкости. Такое приближение, означающее, что поле около одной поверхности пленки не деформируется полем противоположной поверхности, ограничивает теорию случаем достаточно толстых пленок. Это ограничение вытекает (по-видимому, в меньшей мере) также из предположения о том, что потенциал у поверхности ϕ_0 и диэлектрическая постоянная

ная ϵ не зависят от толщины пленок. Таким образом, проверка теории должна проводиться с возможно более толстыми пленками.

Сделанное выше предположение относительно φ_α дает для зависимости между h и φ_α формулу

$$h = 2 \sqrt{\frac{\epsilon k T}{8 \pi n e^2}} \ln \frac{\gamma_{\varphi_0}}{\gamma_{\varphi_\alpha}}, \quad \gamma_{\varphi_0} = \frac{\exp \frac{e}{2kT} \varphi_0 - 1}{\exp \frac{e}{2kT} \varphi_0 + 1}, \quad \gamma_{\varphi_\alpha} = \frac{\exp \frac{e}{2kT} \frac{\varphi_\alpha}{2} - 1}{\exp \frac{e}{2kT} \frac{\varphi_\alpha}{2} + 1}. \quad (2)$$

На рис. 1 приведены кривые зависимости h от $\lg C$ (C — концентрация электролита в молях на литр), вычисленные согласно выражениям (1) и (2) для различных значений φ_0 при постоянном значении $\Pi_{\text{эл}} = 730$ для температуры 25° .

Измерения производились с микроскопическими двусторонними жидкими пленками в приборе, использованном в (5), с улучшенным фотометрированием, подробно описанным в (6).

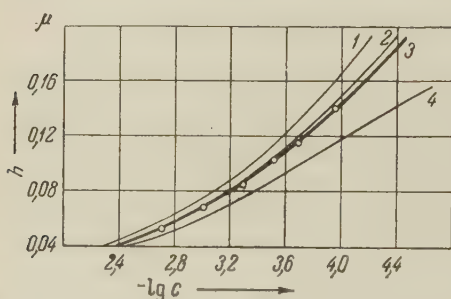


Рис. 1. 1 — 200 мВ, 2 — 100 мВ, 3 — 90 мВ, 4 — 50 мВ

Пенная пленка находилась под действием постоянного всасывающего давления вогнутых концов. Это капиллярное давление $2\sigma/R$ (σ — поверхностное натяжение раствора и $R = 0,2$ см — радиус трубки, в которой висит двояковогнутая капля с микроскопической пенной пленкой в середине) утончает пленку до тех пор, пока положительное расклинивающее давление в пленке не выравняется с ним. Тогда образуется устойчивая равновесная пленка, толщина которой

соответствует величине h , фигурирующей в (2), при давлении $\Pi_{\text{эл}} = 2\sigma/R$, если, конечно, в пленке отсутствует какое-либо другое слагающее расклинивающего давления. Мы измеряли эти значения h при различных концентрациях электролита.

При выборе оптимальных условий для проверки теории электростатического расклинивающего давления оказалось особенно важным правильно выбрать пеностабилизатор. Среди испытанных нами стабилизаторов: олеат натрия, препарат ОП-10, изоамиловый алкоголь и сапонин — последний оказался наиболее подходящим. Сапонин (Schering Saponin gereinigt) обеспечивал необходимую прочность на разрыв пенных пленок при очень низкой концентрации $5 \cdot 10^{-4}\%$. При этом поверхностное натяжение раствора не отличалось заметно от поверхностного натяжения воды, так что капиллярное всасывающее давление и соответственно равное ему при равновесии $\Pi_{\text{эл}}$ можно было считать постоянным и равным 730. Внесенные в раствор при этой концентрации сапонины неизвестные электролиты, хотя их количество очень мало, все же, как показали измерения электропроводности, приходится учитывать. Электропроводность употреблявшейся нами бидистиллированной воды была $\kappa_{25} = 1,12 \cdot 10^{-6}$, а электропроводность раствора сапонины $\kappa_{25} = 1,94\%$. Для раствора $\text{KCl } 10^{-4}$ мол/л (самая низкая из концентраций) такое повышение электропроводности эквивалентно повышению концентрации KCl на $\sim 10\%$. Рассчитанная таким образом поправка к концентрации KCl , конечно, приближительна, так как внесенный с сапонином

Таблица 1

C , мол/л	Поправка, %	h , μ
$1,13 \cdot 10^{-4}$	13,0	0,139
$2,05 \cdot 10^{-4}$	2,5	0,114
$3,13 \cdot 10^{-4}$	4,3	0,104
$5,20 \cdot 10^{-4}$	4,0	0,083
$8,10 \cdot 10^{-4}$	1,25	0,067
$2,02 \cdot 10^{-3}$	1,0	0,050

электролит неизвестен. Однако эта поправка невелика, и такой расчет допустим. Ошибка, вытекающая из этого способа исправления концентрации, очевидно, уменьшается для следующих, более высоких концентраций электролита. В табл. 1 даны значения исправленных таким образом концентраций KCl, поправки в процентах и значения соответствующей равновесной толщины h . Эти же значения нанесены на рис. 1 (точки), где они очень хорошо ложатся на кривую, соответствующую 90 мВ.

Нами была проведена и приблизительная проверка влияния валентности электролита на электростатическое отталкивание в пленках. Для малых значений φ_α выражения (1) и (2) для $Z - Z$ -валентных электролитов могут быть представлены в виде

$$P_{эл} = 64 nkT \gamma_{\varphi_0}^2 h \exp \sqrt{\frac{8 \pi n e^2 Z^2}{\epsilon kT}}, \quad \gamma_{\varphi_0} = \frac{\exp \frac{eZ}{2 kT} \varphi_0 - 1}{\exp \frac{eZ}{2 kT} \varphi_0 + 1}, \quad (3)$$

так что при равных $P_{эл}$, φ_0 и n для двух бинарных электролитов с валентностями Z_1 и Z_2 получается

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{Z_2}{Z_1}. \quad (4)$$

При использовании KCl, BaCl₂ и La(NO₃)₃ мы получили: при $c = 5 \cdot 10^{-4}$ мол/л для BaCl₂ и KCl толщину равновесной пленки соответственно 0,045 и 0,088 μ ; при $c = 10^{-4}$ мол/л для La(NO₃)₃ и KCl соответственно 0,048 и 0,154 μ . Хотя полученные отношения толщины удовлетворяют условию (4), эта проверка теории приблизительна, так как взятые электролиты несимметричны.

Полученные результаты показывают, что теория электростатического отталкивания между диффузными электрическими слоями в двусторонних жидких пленках точно описывает наблюдаемые явления образования равновесных пленок с толщиной большей 0,05 μ . Это дает основание считать, что при использованных концентрациях электролита и для толщин пленок, которые были получены, никакие другие слагающие расклинивающего давления не проявляются в измеримой степени. Такой вывод неожидан, так как согласно расчетам, например на основании лондоновского взаимодействия между молекулами воды, в пленке при толщине порядка 0,1 μ и меньше должно было бы иметь место значительное отрицательное расклинивающее давление. Такое давление, хотя и меньше теоретически ожидаемого, нами было установлено для пенных пленок, стабилизированных ОП-10 и сапонином ⁽⁶⁾ при концентрации KCl 0,1 мол/л. Остается предположить, что отсутствие заметного вандерваальсовского расклинивающего давления в пленках, которые мы исследовали в этой работе, связано с очень малым содержанием электролита и что повышение его концентрации в области концентраций, где электростатическое отталкивание уже подавлено, приводит к возрастанию отрицательного расклинивающего давления. Эти предположения, очевидно, нуждаются в прямой проверке, которую мы проводим в настоящее время.

Институт физической химии
Болгарской Академии наук

Поступило
27 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ O. Bartsch, Koll. Beih., 20, 1 (1924). ² Б. В. Дерягин, А. С. Титиевская, Колл. журн., 15, 416 (1953). ³ Б. В. Дерягин, Л. Д. Ландау, ЖЭТФ, 15, 663 (1945). ⁴ Г. Р. Кройт, Наука о коллоидах, ИЛ, 1955. ⁵ A. Scheldko, Koll. Zs., 155, 39 (1957). ⁶ А. Шелудко, Д. Ексерова, Изв. Болг. Акад. наук (1959)—в печати. ⁷ А. Шелудко, ДАН, 123, № 6 (1958).

Г. А. БУЛКИН

СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО КРЫМА ПО ИХ МИНЕРАЛЬНЫМ АССОЦИАЦИЯМ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 24 III 1959)

Минеральный состав аллювиально-делювиальных отложений горного Крыма показал, что в них присутствует большое количество минеральных видов: золото, висмут, свинец, медь, пирит, халькопирит, киноварь, галенит, сфалерит, флюорит, кварц, рутил, анатаз, брукит, касситерит, корунд, бадделейт, магнетит, ильменит, хромит, гранаты, везувиан, циркон, сфен, киапит, андалузит, силлиманит, турмалин, энстатит, гиперстен, авгит, актинолит, роговая обманка, антофиллит, полевые шпаты, глауконит, хлориты, хлоритоиды, слюды, апатит, монацит, сидерит, кальцит и некоторые другие. Перечисленные минералы распределяются на территории горного Крыма от меридиана г. Алушты на востоке до прямой Алушка — Куйбышево на западе неравномерно. Многие из них: флюорит, касситерит, бадделейт, везувиан, сфен, силлиманит, монацит и др. — встречаются весьма редко и в малых количествах. Наоборот, циркон, гранаты, турмалин, пироксен, рутил, анатаз, ильменит, магнетит, хромит постоянно достигают заметных содержаний. Они характеризуются высокой частотой и относительно большими содержаниями и являются ведущими (главными) минералами района. Совокупность минералов каждого участка характеризует его ассоциацию, название которой устанавливается по названию главных компонентов. Основное внимание уделяется минералам, появление которых в четвертичных отложениях связано с размывом осадочных пород; к ним и относятся, в первую очередь, выявленные закономерности.

Общей чертой для аллювиально-делювиальных отложений западной части горного Крыма служат постоянные содержания магнетита и цирк на. Концентрации других же компонентов ассоциаций увеличиваются, а сами ассоциации закономерно изменяются (по направлению с запада на восток) в сторону расширения числа главных компонентов за счет ильменита, граната, пироксена и отчасти рутила, а также усиления значений некоторых второстепенных минералов (апатита, корунда и др.).

Каждая ассоциация в условиях горного Крыма образуется под преобладающим влиянием горных пород участка, к которому она приурочена. Закономерное изменение ассоциаций вдоль западной части Крымских гор вполне сопоставимо с известными фактами фациальных различий литологического состава мезозойских осадков вдоль Главной гряды:

В результате описываемых изменений состава аллювиально-делювиальных отложений в западной части горного Крыма (исключая районы, прилегающие к Севастополю) выделены 8 терригенно-минеральных ассоциаций.

1. Цирконо-магнетитовая ассоциация — распространена в верховьях р. Бельбек, выше с. Голубинка, в верховьях р. Качи (на территории первой гряды) и на Южном берегу Крыма, в окрестностях Ялты, где она сформировалась под влиянием таврических и среднеюрских пород. В нее входит анатаз, брукит, турмалин, хромит, пирит, гранат, апатит, андалузит, сфен и

ругие, более редкие, минералы. Район распределения минералов данной ассоциации в целом характеризуется большим количеством проб с низким содержанием тяжелых минералов и заменой в отдельных точках ведущих компонентов. Северная его часть характеризуется небольшим содержанием тяжелых минералов с преобладанием циркона. На юге состав компонентов расширяется, и среди них (по положению в ассоциации) пирит, рутил, барит и пироксен почти достигают частот ведущих минералов.

На южном берегу сильно повышается значение магнетита по сравнению с другими членами ассоциации.

В районе распределения ассоциации по повышенным содержаниям других минералов выделяются несколько обособленных участков: 1) пироксеновый — верховья р. Качи; 2) рутил-барит-пиритовый — верховья р. Бельбек; 3) пирит-баритовый — Южный берег Крыма.



Рис. 1. Распределение минеральных ассоциаций в западной части Крымских гор. I—VIII — номера ассоциаций, соответствующие таковым в тексте

II. Цирконо-магматито-рутиловая ассоциация — располагается в долине р. Бельбек, от с. Голубинки до второй гряды гор, и на Южном берегу Крыма, в окрестностях Гурзуфа. На формирование ассоциации в долине р. Бельбек оказывали влияние породы таврической свиты, среднеюрские конгломераты и, главным образом, меловые осадки, на Южном берегу Крыма — таврические и среднеюрские флишевые толщи и, частично, магматические тела. Ассоциация включает ильменит, пирит, гранат, брукит, анатаз, в меньшей степени апатит, турмалин, хромит, шпинель, хлоритоид. Она характеризуется высокой концентрацией тяжелых минералов в шлихах; от предыдущей отличается постоянным содержанием небольших количеств граната, ильменита и резким уменьшением частот турмалина. В пределах данной провинции можно выделить два участка: 1) долина р. Бельбек — с повышенным значением ильменита; 2) Южный берег Крыма — с повышенным значением барита, пирита и брукита.

III. Магнетитовая ассоциация — занимает часть Качинского (в долине р. Альмы и ее притоков) и Курцовское поднятия, охватывая главным образом территорию таврических и триасовых пород. Район распределения данной ассоциации характеризуется значительной обедненностью четвертичных отложений тяжелыми минералами.

Она включает вместе с магнетитом барит, хромит, андалузит, турмалин, анатаз, редко — касситерит и поликраз. В содержании самого магнетита наблюдаются колебания от единичных процентов до десяти процентов к весу

всех тяжелых минералов. В районе имеются участки с повышенным содержанием ильменита и барита (восток и север района).

IV. Магнетит-циркон-ильменит-пироксеновая ассоциация — занимает среднее течение рр. Альмы и Бодрака, по долинам которых находятся многочисленные выходы магматических тел среди пород таврической формации. Кроме ведущих минералов ассоциации, здесь встречается лейкоксен, барит, хромит, ставролит и корунд. Главенствующую роль, как и в предыдущей ассоциации, здесь сохраняет магнетит, но к нему добавляются ведущие минералы магматического происхождения. Все пробы заметно обогащаются минералами тяжелой фракции.

Данная ассоциация образовалась за счет добавления к магнетитовой ильменита, пироксена, циркона и др. в результате влияния многочисленных магматических тел.

V. Магнетит-циркон-ильменит-гранатовая ассоциация — включает апатит, шпинель, корунд, брукит, кианит, амфиболы, пироксен, турмалин, колумбит. Основная площадь распространения данной ассоциации совпадает с областью размыва среднеюрских и верхнеюрских конгломератов байраклинской синклинали. Частично ею же захватываются меловые породы Салгирского понижения и таврические породы Качинской антиклинали. Данная ассоциация менее равномерна и устойчива, чем предыдущая. Для нее характерно выпадение в отдельных пробах района части минералов из состава ведущих и широкие колебания как количественных, так и частотных характеристик других минералов. Подобное поведение компонентов находит себе объяснение в неотсортированности конгломератов — главной породы питающей провинции данной ассоциации. Вся провинция подразделяется на два подрайона: северо-восточный и юго-западный. Первый из них характеризуется большим постоянством ведущих минералов ассоциации, заключающемся в отсутствии колебаний их количеств и частот. Для минералов второго подрайона эти свойства не характерны. В отдельных пробах центральной части провинции число ведущих минералов снижается до двух или даже до одного.

VI. Магнетит-циркон-ильменит-рутиловая ассоциация — занимает территорию меловых пород Салгирского понижения и юрских конгломератов восточного замыкания Байраклинской синклинали в небольшую площадь восточного окончания Курцовского поднятия, сложенного эски-ордынскими породами и магматическими телами. Роль последних как питающей среды для минералов района незначительна.

Кроме ведущих минералов, давших название ассоциации, для нее характерен апатит, силлиманит, более редко — турмалин, сфен, шеелит и ксенотим. Данная ассоциация имеет низкое содержание ведущих минералов при их неизменной частоте.

VII. Магнетит-циркон-гранат-ильменит-рутиловая ассоциация. В числе минералов данной ассоциации встречается также лейкоксен, хромит, турмалин и реже андалузит.

Ассоциация располагается в районе размыва таврических сланцев (верховьями р. Ангара) и нижнемеловых пород северной части Салгирского погружения. Территория таврической свиты и нижнемеловых пород обрамлена верхнеюрскими известняками и конгломератами. Минералоготерригенная провинция характеризуется повышенным содержанием тяжелых минералов и устойчивой ассоциацией ведущих компонентов, испытывающих в отдельных местах количественные колебания. Шлихи с уменьшенными содержаниями ведущих компонентов ассоциации встречаются лишь на периферии провинции, например в северных частях исчезает гранат.

VIII. Магнетит-циркон-ильменит-пироксен-рутиловая ассоциация — занимает южный склон Крымских гор, в окрестностях г. Алушты. Кроме главных терригенных минералов, она включает пирит, барит, брукит, анатаз, апатит, корунд, шпинель, турмалин. Данный комплекс минералов образуется в результате размыва таврических и среднеюрских флишевых от-

отложений и крупных магматических тел основного состава. От предыдущей ассоциации отличается отсутствием в числе главных компонентов граната и присутствием пироксена. Ассоциация характеризуется высоким содержанием тяжелых минералов и небольшими колебаниями состава ведущих компонентов. Повышенные содержания в районе имеют пирит, барит, анатаз, местами брукит; лишь в отдельных пробах из среды главных компонентов — пироксен и реже рутил. Повышенное значение среди минералов окрестностей г. Алушты имеют пирит, барит, анатаз, местами брукит.¹

Таким образом, в минеральных ассоциациях западной части горного Крыма главная роль принадлежит устойчивым и очень устойчивым терригенным минералам, — особенность, унаследованная от осадочных пород района. Это указывает на то, что источники сноса находились от последних на большом удалении или что процесс переотложения минералов до их выноса в осадочные толщи горного Крыма был многократным.

Минералогические ассоциации четвертичных отложений сложились под влиянием осадочных пород и — в значительно меньшей степени — средних и основных магматических интрузий. В их формировании не принимали участия какие-либо другие породы, что отличает горный Крым от восточного Кавказа, где ассоциации испытывали значительное влияние кислых эффузий, и Памира, где они определялись при участии метаморфических фаций^(1,2).

Минеральный состав ассоциаций четвертичных отложений горного Крыма наиболее сходен с составом северных районов восточного Кавказа, где среди терригенных минералов также находятся гранаты, ильменит и рутил. Вместе с тем, эпидот и ставролит, широко распространенные на восточном Кавказе, для горного Крыма очень редки.

В заключение остановимся на небольшом вопросе методического порядка. Для выявления терригенных ассоциаций горного Крыма было проанализировано около тысячи проб разных отложений. Каждый анализ характеризовался достаточно неравномерным содержанием терригенных минералов, даже по сравнению с соседними пробами одной с ним минералогической ассоциации. Общие же закономерности проявлялись лишь при достаточном числе исходных анализов. Последнее объясняется особенностями сильно расчлененного рельефа. Отсюда следует, что районирование современных отложений горных районов по минеральным ассоциациям требует значительного числа проб — маршрутного и единичного опробования по основным рекам для правильного выделения ассоциаций недостаточно.

Институт минеральных ресурсов
Академии наук УССР
г. Симферополь

Поступило
6 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Б. Вистелиус, ДАН, 111, № 5 (1956). ² А. Б. Вистелиус, ДАН, 118, № 6 (1958).

Г. М. ВЛАСОВ и В. А. ЯРМОЛЮК

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ РАЙОНЫ КАМЧАТКИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 26 II 1959)

Полученные в последние годы геологами Дальневосточного и Пятого геологических управлений данные позволили уточнить геологическую структуру Камчатского полуострова. При составлении новой обзорной геологической карты Камчатки выяснились важные особенности, не показанные на изданной в 1957 г. тектонической карте СССР (рис. 1).

Камчатка представляет молодую складчатую область, сложенную преимущественно кайнозойскими и тесно с ними связанными верхнемеловыми образованиями. В южной части Срединного хребта расположен срединный массив метаморфических и глубинных изверженных пород. В основных структурах полуострова проявляются два направления: меридиональное, соответствующее удлинению срединного массива, и северо-восточное, связанное с простиранием двух параллельных складчатых дуг. Одна из этих дуг, внешняя, проходит у восточного берега Камчатки (Восточный Камчатский хребет), другая, внутренняя, следует примерно оси полуострова (центральная и северная части Срединного хребта). Эти дуги являются важнейшими структурно-фациальными и структурно-металлогеническими зонами полуострова. Внешняя дуга состоит из антиклинального поднятия, сложенного верхнемеловыми осадочными и вулканическими породами, в том числе ультраосновными. Поднятие окаймлено сложноскладчатым палеогеновым и нижнемиоценовым флишем. В офиолитовой и других толщах этой зоны, прорванных разнообразными интрузиями, находятся колчеданные рудопоявления с медью, никелем, кобальтом, местами с молибденом. В пределах внутренней дуги развиты почти исключительно кайнозойские вулканические породы. Здесь распространены руды ртути, сурьмы, золота, меди, молибдена, образовавшиеся в близповерхностных условиях и залегающие среди вторичных кварцитов и пропилитов.

У еще мало изученной поперечной, юго-восточной, зоны дислокаций, пересекающей полуостров у Петропавловска, дуги загибаются к востоку. За пределами Камчатки к югу внутренняя дуга продолжается в виде Большой Курильской островной цепи, внешняя же камчатская дуга, по-видимому, следует подводному выступу, протягивающемуся восточнее этой цепи, до Малых Курильских островов. На северо-востоке дуги продолжают в Корякском нагорье. Особенно отчетливо там выражена внешняя дуга, которая поворачивает к востоку и у устья р. Хатырки уходит за пределы материка на соединение со структурами Аляски.

Срединный массив нарастается в северном направлении молодыми антиклинальными складками, направление которых вблизи массива подчинено его меридиональному простираанию, а при удалении от него становится северо-восточным. Срединный массив и складчатые дуги являются основными камчатскими антиклинориями, орографически выраженными хребтами. Вдоль восточных полуостровов протягивается четвертый антиклинорий, представляющий собой относительно небольшое поднятие, сложенное палеогеновыми и миоценовыми вулканическими породами и флишем. Между

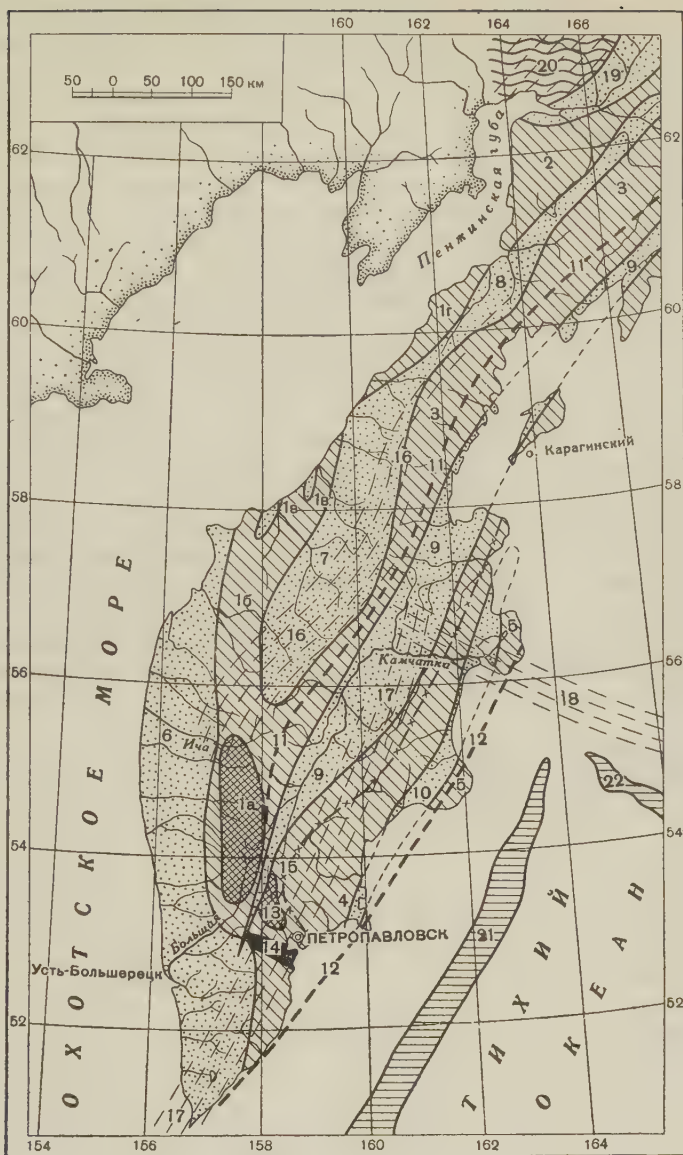


Рис. 1. Тектонические районы Камчатки. Антиклинории: 1 — Срединный Камчатский (1а — Срединный массив метаморфических и глубинных изверженных пород, 1б — северная часть антиклинория, сложенная верхнемеловыми и третичными породами, 1в — Гаванская и Воямпольская антиклинальные ветви, 1г — возможное продолжение структур Срединного Камчатского антиклинория), 2 — Майнский, 3 — Камчатско-Корякский, 4 — Восточный Камчатский, 5 — антиклинорий восточных полуостровов. Синклинории: 6 — Западный Камчатский, 7 — Паланский, 8 — Парапольский, 9 — Центральная Камчатская впадина, 10 — Тюшевский синклинорий. Глубинные разломы: 11 — Центральный Камчатский, 12 — Восточный Камчатский. Структуры, связанные с поперечной Петропавловско-Малкинской зоной дислокаций: 13 — Ганальский массив метаморфических и глубинных изверженных пород, 14 — Начикинский грабен, 15 — изгиб оси Восточного Камчатского антиклинория. Наложенные четвертичные вулканические зоны: 16 — Срединная, 17 — Курило-Камчатская, 18 — Камчатско-Алеутская. Пограничные с мезозойской складчатой областью структуры: 19 — Пенжинский прогиб, 20 — окраина мезозойской складчатой области с наложенным Восточно-Азиатским вулканогенным поясом. Структуры, связанные с развитием новой геосинклинальной системы: 21 — Курило-Камчатская океаническая впадина, 22 — Алеутская океаническая впадина

антиклинориями располагаются синклинии, выраженные в современном рельефе понижениями и впадинами. Западный Камчатский, Паланский, Парапольский и Пенжинский синклинии с неогеновыми угленосными и нефтеносными отложениями представляют т ы л о в о й прогиб, разделенный на две части центральным поднятием; это ближайший аналог краевых прогибов срединных геосинклиналей. Центральная Камчатская впадина является в н у т р е н н и м прогибом между складчатыми дугами, а Түшевский синклинорий — небольшим осложнением Восточного Камчатского антиклинория. Вблизи восточного берега Камчатки и к югу от Алеутских островов протягиваются океанические, п е р е д о в ы е, впадины, присущие лишь окраинным геосинклиналям и обусловленные развитием к востоку от Камчатской складчатой области новой геосинклинальной системы.

С обеими молодыми складчатыми дугами полуострова сопряжены глубинные разломы, вдоль которых распространены мощные третичные и верхнемеловые вулканические толщи с большим числом гипабиссальных интрузий и рудопроявлений. На все указанные главные структурные элементы Камчатского полуострова накладываются три четвертичные вулканические зоны. Одна из них, более древняя, приурочена к тыловой части внутренней (вулканической) складчатой дуги Камчатки и совпадает с современным водоразделом Срединного хребта. Две другие, современные, находятся у восточного берега Камчатки и связаны с ростом Курило-Камчатской и Алеутской океанических впадин. Эти современные вулканические зоны являются аналогами окраинного вулканогенного пояса, сформировавшегося в Восточной Азии на границе мезозойской складчатой области и позднемеловых — кайнозойских геосинклинальных прогибов.

Дальневосточное геологическое
управление
г. Хабаровск

Поступило
24 II 1959

В. К. ГОЛУБЦОВ и Г. И. КЕДО

К НАХОДКЕ ОТЛОЖЕНИЙ ЯСНОПОЛЯНСКОГО ПОДЪЯРУСА НИЖНЕГО КАРБОНА В ЧЕРНИГОВСКОЙ ОПОРНОЙ СКВАЖИНЕ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 23 II 1959)

Черниговская опорная скважина, пробуренная в 1949 — 1951 гг. в окрестностях г. Любеч (хут. Пересаж), представляет большой интерес для познания геологического строения как Днепроовско-Донецкой впадины, так Припятского прогиба. За последние годы опубликован ряд работ, которые той или иной мере освещают разрез этой скважины (1-6). Здесь выделяют архейские, девонские (эффузивно-осадочная толща), каменноугольные, пермские и мезозойские отложения. Каменноугольные отложения расчленяются на средний и нижний отделы. В составе последнего установлены амюрский и визейский ярусы (1-4). При этом все авторы сходятся в мнении, что в разрезе Черниговской скважины отсутствуют турнейские и нижневишневские (яснополянские) отложения.

В настоящей заметке авторы на основании детального описания разреза изучения микрофауны и спорово-пыльцевых комплексов несколько уточняют и детализируют расчленение части разреза Черниговской опорной скважины. Расчленение визейского яруса этой скважины, без описания, было дано в работе В. К. Голубцова (1). Возраст эффузивно-осадочной толщи принимается за верхнедевонский (фаменский). Кровля этой толщи отбивается нами на глубине 1592,0 м. Выше по разрезу, в интервале глубин 1518—1592 м, залегают каменноугольные отложения.

Контакт девона и карбона здесь очень резкий. Эффузивно-осадочная толща на контакте представлена сильно каолинизированной, а в самой верхней части — и пиритизированной брекчиевидной туфогенной породой, являющейся древней корой выветривания. На ней резко трансгрессивно залегает песчаник темно- и грязно-серый, иногда зеленоватый, мелко- и среднезернистый, кварцевый, глинистый, местами слюдястый, иногда переходящий в алевролиты. В песчанике встречаются редкие и тонкие прослои темно-серых (местами до черных) песчаных глин, с большим количеством обуглившихся растительных остатков. Местами наблюдаются ризоиды, которые пронизывают песчаник и отмечаются даже в туфогенной породе. Растительные остатки в нижней части толщи пиритизированные. По-видимому, пиритизацией органического материала, накопившегося в основании карбона, и объясняется наличие большого количества пирита в кровле эффузивно-осадочной толщи. Следует отметить, что песчаник местами также носит следы каолинизации. Из нижней его части, с глубины примерно 1590,0 м, в прослое темно-серой глины с растительными остатками, были определены многочисленные споры: *Euryzonotriletes variabilis* Naum. (4 %), *E. triangulatus* (4 %), *E. trivialis* Naum. (10 %), *E. planus* Naum. (2 %), *Trematozonotriletes variabilis* (Waltz) var. *irregularis* (Andr.) Naum. (26 %), *T. variabilis* (Waltz) var. *fossulatus* (Waltz) Naum. (6 %), *T. valeculosus* (Waltz) Naum. (6 %), *T. gibberosus* Naum. (5 %), *Dictyotriletes magnus* Naum. (4 %), *Hymenozonotriletes macroreticulatus* Naum. var. *triangulatus* Jush. in litt. (3 %), *H. pusilus* Naum. (9 %), *Perisaccus primigenius* Naum.

В комплексе преобладают виды спор с широкой оторочкой из группы *Euryzonotriletes* Naum. (до 30 %) и виды из группы *Trematozonotriletes* Naum. (до 40 %). Указанный комплекс спор очень хорошо сопоставляется с спорово-пыльцевыми комплексами второго горизонта продуктивной свиты Восточского района Смоленской обл. и второго ($C_1^{P_2}$ — третьего ($C_1^{P_3}$) горизонтов восточной (Кораблино) и юго-западной (Спаск-Деменск, Сухиничи, Думиничи) частей Подмосковного бассейна.

Мощность отложений сталиногорского горизонта, которые мы выделяем в интервале 1586 — 1592 м, составляет 6 м.

Выше по разрезу, в интервале 1586—1562,0 м, залегает в основном глинистая толща, представленная глинами темно-серыми и черными, плотными, слоистыми, местами листоватыми, некарбонатными, иногда песчанистыми и слюдястыми на плоскостях наложения, иногда углистыми, с обуглившимися растительными остатками, с тонкими прослоями углей. В нижней, а главным образом в верхней части толщи наблюдаются прослои слабо сцементированных песчанников серых и темно-серых, мелко- и среднезернистых, кварцевых, глинистых, часто слюдястых. Мощность этих песчанников в нижней части (их всего три) 0,3—0,6 м по керну, в верхней части залегает один пласт песчанника около 3,0 м мощностью. Растительные остатки в толще часто пиритизированные.

В двух образцах черной углистой глины, взятых из этой толщи, определены следующие многочисленные споры: *Leiotriletes inermis* (Waltz) Naum. (7 %), *L. platyrugosus* (Waltz) Naum. (4 %), *Acanthotriletes parvispinosus* (Luber) (4 %), *Lophotriletes parviverrucosus* (Waltz) Jush. in litt. (6 %), *Trachytriletes subintortus* Naum. (7 %), *Hymenozonotriletes pusilus* (Ib. Ibr.) Naum. (обильно), *H. limpidus* Jush. in litt., *Euryzonotriletes variabilis* Naum. (3 %), *Trematozonotriletes variabilis* (Waltz) var. *irregularis* (Andr.) Naum. (8 %), *T. bialatus* (Waltz) Naum. (8 %), *T. variabilis* var. *spinosus* var. n. (4 %), *T. gibberosus* Naum. var. *polizonalis* Jush. in litt. (6 %), *Trilobozonotriletes inciso-trilobus* Naum. (6 %), *Perisaccus primigenius* Naum. (7 %).

Отличительной чертой этого комплекса является резкое преобладание мелких спор без оторочки, пленчатых спор вида *Hymenozonotriletes pusilus* (Ibr.) Naum., а также видов из группы *Trematozonotriletes* Naum. (30 %). Сохраняется также небольшое количество спор с широкой оторочкой. Вмещающие этот

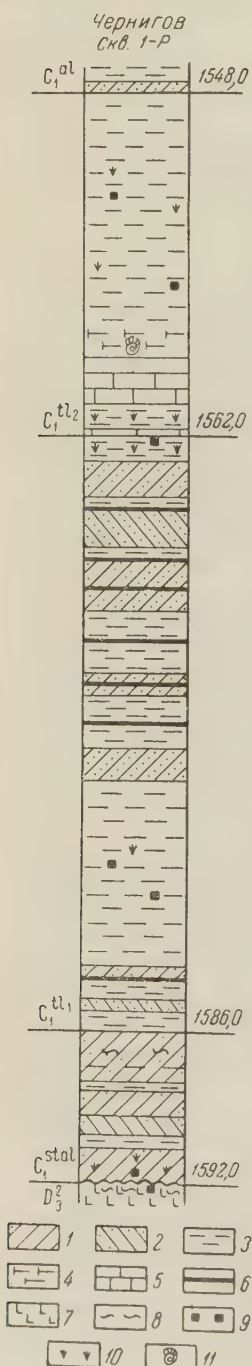


Рис. 1. Геологический разрез Яснополянских отложений Черниговской опорной скважины: 1 — песчаник, 2 — алевролит, 3 — глина, 4 — глина карбонатная, 5 — известняк, 6 — уголь, 7 — эффузивы, 8 — каолинизация, 9 — пирит, 10 — растительные остатки, 11 — фауна

комплекс спор отложения мы относим к нижнему тульскому горизонту и сопоставляем этот комплекс с XVI спорово-пыльцевым комплексом С. Н. Наумовой, выделенным ею из нижнетульских отложений у д. Огаровой, а также

аналогичными споровопыльцевыми комплексами нижнетульского горизонта кважиин Припятского прогиба (район Ельска, Заозерная структура) (^{7,8}).

Таким образом, отложения нижнетульского горизонта мы выделяем интервале 1562—1586 м, т. е. они имеют мощность 24,0 м.

Выше, в интервале 1548—1562 м, залегает глинистая толща с двумя прослоями известняка. Глины темно-серые и черные, плотные, слоистые, иногда слюдистые на плоскостях наложения, некарбонатные, с обуглившимися растительными остатками, иногда (на контакте с верхним известняком) с остатками фауны брахиопод и в этом случае — известковистые. Известняки — темно- и светло-серые, крепкие, местами глинистые, кристаллические. Нижний известняк, мощностью 0,10 м по керну, залегает в основании толщи; верхний известняк, мощностью 1,5 м, — в средней части интервала 1555—1562,0 м. В известняках нами была встречена довольно обильная фауна фораминифер, которую еще ранее (¹⁻³) определила также Н. Е. Бражникова. Наиболее характерные формы (по данным Н. Е. Бражниковой и нашим) *Brunsia spirillinoides* Raus., *Endotira ex gr. similis* Raus. et Reitl., *E. crassa* var. *compressa* Raus. et Reitl., *Archaediscus karreri* Brady, *A. karreri* var. *nana* Raus., *A. krestovnicivi* Raus., *A. spirillinoides* Raus., *Eostaffella ex gr. mediocris* Viss. Встречаются также гипераммины, аммонискусы (*A. priscus* Raus.), мелкие тетратакисы, текстулярииды и др. Совершенно отсутствуют такие формы, как килеватые зоштаффеллы, рэдинны, крупные *Endothyra ex gr. crassa*, *E. omphalota*, *Archaediscus moelleri*, *A. moelleri* var. *gigas*, водоросли *Calcifolium*, т. е. как раз те формы, которые в Подмосковном бассейне (⁹) и Припятском прогибе (⁷) являются характерными для алексинского горизонта. И, наоборот, в комплексе преобладают формы, характерные для верхней части тульского горизонта. Поэтому мы считаем, что указанный выше комплекс характеризует вмещающие его отложения как верхнетульские. Н. Е. Бражникова (²) сопоставляет этот комплекс, называемый ею XIIa, с комплексом фораминифер из нижней части свиты C₁^vf Донбасса. Судя по списку фораминифер, который она приводит, XIIa комплекс следует относить, на нашем мнению, к верхнетульскому горизонту.

Типичный алексинский комплекс фораминифер указывается Н. Е. Бражниковой только в ее XII комплексе.

Таким образом, в интервале 1548—1562 м мы выделяем отложения верхнетульского горизонта, которые сопоставляем с аналогичными отложениями Припятского прогиба (^{7,8}), Подмосковского бассейна (⁹) и нижней частью свиты C₁^vf Днепровско-Донецкой впадины (¹⁻⁴).

Выше, в интервале 1548—1513 м, залегает темно-серая глинистая толща с прослоями известняков, охарактеризованная обильной фауной фораминифер, указывающей на алексинский возраст этой толщи (середина зоны C₁^vf Днепровско-Донецкой впадины).

Институт геологических наук
Академии наук БССР

Поступило
20 I 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Е. Айзенберг и др., Геол. журн., **13**, в. 2 (1953). ² Д. Е. Айзенберг, Н. Е. Бражникова. Геол. журн., **16**, в. 1 (1956). ³ Д. Е. Айзенберг и др., Геологическое строение и газонефтеносность Днепровско-Донецкой впадины и северо-западных окраин Донбасса, Киев, 1954. ⁴ Д. Е. Айзенберг, Стратиграфия и палеогеография нижнего карбона западного сектора Большого Донбасса, Киев, 1958. ⁵ Л. Г. Бернадская, Ф. Е. Лапчик, И. С. Усенко, ДАН, **95**, № 6 (1954). ⁶ В. К. Голубцов, ДАН, **111**, № 6 (1956). ⁷ В. К. Голубцов, Палеонтология и стратиграфия БССР, сборн. II, Минск, 1957. ⁸ Г. И. Кело, Тр. Инст. геол. наук АН БССР, в. 1, 1958. ⁹ Д. М. Раузер-Черноусова, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 62, сер. геол., № 19, 1948.

Н. И. ГРИДНЕВ

ФАЦИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НАДВОДНОЙ ДЕЛЬТЫ АМУ-ДАРЬИ *

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 19 II 1959)

Надводная дельта Аму-Дарьи охватывает нижнюю часть долины этой реки, начиная от поворота у западных окончаний отрогов гор Султан-Уиз-Даг и далее к северу, до берегов Аральского моря, переходя здесь в подводную дельту. С запада она ограничена чинками Устьурта, с востока — пустыней Кызыл-Кумы.

Дельтовые осадки Аму-Дарьи — это типичные наземные образования. Согласно стадийному принципу ⁽¹⁾, они относятся к равнинно-долинному фациальному поясу. Характеризуются алевроитово-глинистым составом с подчиненными песчаными осадками, быстрой фациальной изменчивостью в разрезе и на площади.

Четвертичная толща дельты залегает на размытой поверхности верхнемеловых, местами палеогеновых отложений **, представленных синевато-серыми глинами и мергелями и содержащих пропластки известняков и морскую фауну фораминифер и остракод.

Мощность отложений дельты различна: увеличивается в целом в осевой ее части и уменьшается в краевых участках. В разрезах буровых скважин у г. Чимбая и в 25 км к западу от него мощность четвертичной толщи (антропоген) вместе с современными осадками равна 70 м; в других местах она колеблется от 35 до 142 м. При этом современный покров дельты, образованный с конца последней трансгрессии Аральского моря (отложения с фауной *Cardium edule*), определяется в 12—15 м.

В отложениях дельты наблюдается отчетливое ритмическое строение их толщи. Ритмичность проявляется в периодической смене макро- и микрофаций и их различных литогенетических особенностях — петрографическом составе, окраске, содержании солей. На этой основе отложения дельты расчленены на четыре ритмические единицы — ритмопачки, хорошо увязывающиеся в разрезах скважин верхней части площади надводной дельты (рис. 1).

В четвертичной толще дельты установлены те же макрофации, какие были выделены и в современных ее осадках ⁽²⁾: русловая, пойменная, озерно-болотная, такыровидная и эоловая***. Однако объем и распространение их существенно отличаются.

Русловая макрофагия. В ее составе установлены главным образом русловая и второстепеннорусловая микрофации.

Главнорусловая микрофагия широко распространена в толще осадков осевой (центральной современной) части дельты. Отложена крупными по-

* Изучены по материалам буровых скважин (керна), предоставленных Институтом «Средазгипроводхлопок» с использованием результатов личных полевых исследований, проведенных совместно с В. И. Поповым и К. А. Набиевым ⁽²⁾.

** Возраст отложений определен М. Н. Граммом (антропоген, палеоген) и Е. А. Жуковой (мел).

*** В разрезе современных осадков дельты на рис. 1 отображен более полный состав микрофаций, чем в четвертичных.

стоянно действующими руслами Аму-Дарьи, протекавшими в основном в пределах современной правобережной части дельты. В поперечном профиле дельты главнорусловые осадки представляют линзовидные тела значительной мощности (10—15 м) и протяженности (километры — в поперечном сечении дельты и десятки километров — в продольном), более выпуклые в своей верхней плоскости, резко разграничиваются от подстилающих и покрывающих их фаций. Состоят из серых, желтовато-серых и буроватых средне- и крупнозернистых, реже мелкозернистых косослоистых алевритовых песков с прослоями пойменных, иногда озерно-болотных алевритово-глинистых осадков. В вертикальном разрезе толщи осадки главнорусловой микрофации развиты в средней ее части и значительно уменьшаются в количестве и мощности линз — в верхней.

Второстепеннорусловая микрофация распространена на всей изученной части дельты, но так же, как и главнорусловая, более развита в центральных ее участках; в разрезе толщи наблюдается всюду. Образована непостоянно действующими, часто мигрирующими водотоками — ответвлениями от главных русел. Представлена маломощными, в поперечном сечении, короткими линзами песчано-алевритовых осадков, нередко косослоистых и струйчато-слоистых, буроватых, зеленовато-охристых и сероватых, с пятнами гидроокислов железа и растительными остатками.

П о й м е н н а я (п о л о й н а я) м а к р о ф а ц и я широко развита в разрезе и на площади, более распространена на левобережной, пониженной части дельты, обильно заливаемой паводковыми водами (полями). Осадки сложены алевритовыми глинами и глинистыми алевритами, горизонтально-слоистыми, тусклыми буроватыми, охристо-красными, зеленовато-охристыми, пятнистыми, с растительными остатками. Значительно выдержаны по площади на левобережье и изменчивы на правобережье дельты, где переслаиваются с осадками второстепеннорусловой фации. Мощность пойменных осадков варьирует в пределах от дециметров до нескольких метров и редко достигает 8—10 м.

О з е р н о - б о л о т н а я м а к р о ф а ц и я. Так же как и в современных отложениях, развита преимущественно в западной части дельты, более благоприятной для формирования застойных фаций, реже отмечается среди пойменных и русловых осадков восточной части дельты. Установлена в различных частях четвертичной толщи. Представлена синевато-серыми, пятнистыми (ржавые, фиолетовые, зеленые тона) глинами с обуглерожеными остатками растений и пресноводной фауной остракод (*Cyprideis littoralis* Br. и др.).

Т а к ы р о в и д н а я м а к р о ф а ц и я. В разрезах скважин установлена в немногих местах. Исходя из широкого распространения такыровидных (и такырных) фаций на площади современной дельты, отложения ее в четвертичной толще, по-видимому, не менее значительны. Характерными для такыровидной фации являются образцы керна, извлеченные из скважины у г. Чимбая с глубин 51, 58 и 59 м. Залегают здесь среди зеленовато-желтых прируслово-барханных песков. Представлена глинистыми алевритами и алевритовыми глинами, обладающими отчетливой горизонтальной слоистостью, с толщиной слойков 2,5—3 мм; как и слоистость, столь же часто изменяется и окраска осадков, чередуясь от светлой красновато-охристой до более яркой охристо-красной. Во всех установленных пунктах осадки относятся к первичной (такыровидной) фации, обязанной отложению ее в пойме реки во время разливов.

Э о л о в а я м а к р о ф а ц и я. Выделены прируслово-барханная и вторично-барханная микрофации.

Прируслово-барханные песчаные осадки возникли в результате перевенывания ветром русловых и пойменных отложений, поэтому встречаются совместно с ними, образуя крупные скопления барханных гряд и бугров. В разрезе четвертичной толщи наиболее мощные их отложения установлены в нижних горизонтах. Представлены мелкозернистыми зеленовато-охристыми

и песками и алевритами. Содержат обломки раковин пресноводных ostracod.

Вторично-барханная микрофация представляет переотложенные эолово-авантинные материковые пески пустыни Кызыл-Кум — зеленовато-желтые, хорошо отсортированные, с округленными зернами кварц-полевошпатового состава.

Рассмотрение дельтовых фаций Аму-Дарьи в пределах изученной площади позволяет отметить следующие наиболее важные этапы в жизни этой реки.

1. Наибольшая активность Аму-Дарьи относится ко времени отложения передней части четвертичной толщи, где рекой накоплены мощные и выдержанные на площади правобережной дельты грубые русловые (главнорусловые) осадки.

2. Аму-Дарья или отдельные крупные ее протоки свое крайнее восточное положение за время формирования дельты занимали на меридиане г. Кенейли и во всяком случае не распространялись далее г. Чимбая.

3. Современное положение основного русла Аму-Дарьи на площади дельты является в то же время и крайним западным ее положением за время формирования дельтовых осадков.

4. Смещение основного русла Аму-Дарьи к западу происходило в начале отложения дельтовых осадков за счет общего уклона в этом направлении четвертичной равнины; позднее рекой накопилась мощная толща русловых осадков, обусловивших значительную выпуклость поперечного профиля дельты и оттеснивших основное русло реки в западную, наиболее пониженную часть дельтовой равнины.

Институт геологии
Академии наук УзССР

Поступило
12 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Попов, Тр. июньской сессии АН УзССР в 1947 г., Ташкент, 1948.
В. И. Попов, Н. И. Гринев, К. А. Набиев, Литология кайнозойских классов Средней Азии, ч. III, фации равнинно-долинных формаций (на примере современных адводнодельтовых отложений р. Аму-Дарьи). Изд. АН УзССР, Ташкент, 1956.

И. А. КОРОБКОВ и Р. К. МАКАРОВА

К СТРАТИГРАФИИ ПАЛЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЗОВЬЕВ АМУ-ДАРЬИ В СВЯЗИ С НОВЫМИ НАХОДКАМИ МОЛЛЮСКОВ

(Представлено академиком А. Л. Яншиным 28 II 1959)

В 1957 г. палеонтолого-стратиграфическая партия Узбекского геологического управления производила геологические работы в низовьях Аму-Дарьи, во время которых как в естественных выходах, так и в кернах буровых скважин были собраны раковины моллюсков, изучавшиеся авторами совместно в Ленинградском государственном университете.

Палеогеновые отложения в низовьях Аму-Дарьи, так же как на южном и западном побережьях Аральского моря, имеют мощность, не превышающую 225 м. Они трансгрессивно залегают на верхнемеловых породах, отделяясь прослоем гравелита. Соотношение палеогеновых и меловых пород на западном берегу Аральского моря у мыса Ак-тумсук детально изучено А. Л. Яншиным⁽³⁾. Здесь самыми древними породами палеогенового возраста являются небольшой мощности (12,95 м) нуммулитовые известняки, которые в нижней части содержат среднеэоценовые, а в верхней — верхнеэоценовые нуммулиты и мелкие фораминиферы. Скважины в районе г. Чимбай, Кара-узак, Тахта, Купыр показали, что и в низовьях Аму-Дарьи палеогеновые отложения имеют в основании небольшой мощности (0,8 — 4,5 м) плотный, белый, несколько песчанистый известняк с пиритовыми стяжениями и фосфоритовой галькой внизу и с прослоем гравелита на контакте с верхнемеловыми породами. Как и на мысе Ак-тумсук, известняки в низовьях Аму-Дарьи покрываются серовато-коричневыми уплотненными мергелями, чередующимися с мергелистыми светлыми известняками общей мощностью 40—45 м. На мысе Ак-тумсук в аналогичных породах найдены зубы рыб и мелкие фораминиферы⁽³⁾, стр. 267), определяющие верхнеэоценовый возраст. В низовьях Аму-Дарьи в прослоях известняков встречены раковины *Anomia* sp. и *Variamusium*. Последние близки к *V. captiosum* Korob.⁽⁴⁾, стр. 481) из среднеэоценовых отложений Северного Кавказа, но отличаются сильно ослабленной радиальной скульптурой левых створок. Такие же раковины известны из верхней части тасаранской свиты многих мест Казахстана и в сходных породах Кызылкумов. И. А. Коробковым подобные раковины находились в основании слоев с *Lyrolepis caucasica* Rom. на Северном Кавказе. Отделяясь прослоями светлых и светло-серых крепких мергелей до 6 м мощности, на всей территории низовий Аму-Дарьи залегает весьма выдержанная толща мергелистых глин, мощностью до 60 м. В нижней части они или кирпично-красные, или малиновые, а в верхней светло-зеленые. В толще мергелистых глин были найдены следующие виды моллюсков: *Variamusium fallax* Korob., *Palliolium mayeri* Hofm. var. *laricata* Korob., *Gryphaea brongniarti* Bronn var. *queteleti* Nyst, *Astarte ibosqueti* Koen., *Dientomochilus* cf. *planus* Beyr., *Fusus* sp., *Cyrtodaria transcaspica* Korob. et Miron. и *Isocardia eichwaldiana* Rom. var. *mica* Ovetsch.*.

* Два последних вида найдены в обнажениях на возвышенности Бельтау.



Рис. 1. 1 — *Nucula compta* Goldf., 2×; 2 — *Nuculana perovalis* Koen., 4×; 3 — *Abra bosqueti* Semp., 4×; 4 — *Cardita lucovichi* Ruch., 6×; 5 — *Astarte bosqueti* Koen., 4×; 6 — *Astarte ustjurtensis* Iljina, нат. вел.; 7 — *Variamussium* sp., 2×; 8 — *Variamussium fallax* Korob., 2×; 9 — *Chlamys* (*Forma acomodata Pseudamussium*) *cossmanni* Koen., 4×; 10, 11 — *Chlamys cisaralica* sp. n. (10 — голотип, 2×, 11 — паратип, 6×); 12 — *Palliolium mayeri* Hofm. var. *laricata* Korob., 2×; 13 — *Cuspidaria variocostata* Korob., нат. вел.; 14 — *Cuspidaria ninae* Korob., 2×; 15 — *Corbula conglobata* Koen., 2×; 16 — *Pleurotoma explanata* Koen., 3×; 17 — *Scaphander dilatatus* Phill., 4×; 18 — *Dientomochilus* cf. *planus* Beyr., 4×; 19 — *Ficus crassistria* Koen., 4×; 20 — *Aturia zigzag* Sow., нат. вел.; 21 — *Gryphaea brongniarti* Bronn. var. *queteleti* Nyst., 2×; 22 — *Cyrtodaria transcaspica* Korob. et Miron., нат. вел.; 23, 24 — *Isocardia eichwaldiana* Rom. var. *mica* Ovetsh. 1—6, 9, 13—17, 19 — олигоценные (хадумские) моллюски из района г. Чимбая; 7—12, 18, 21—24 — верхнеэоценовые моллюски из района г. Чимбая

Этот комплекс видов заслуживает большого интереса, так как включает виды, очень характерные для белоглинского горизонта фораминиферовых слоев Северного Кавказа (а в частности для зоны *Variamussium fallax* ⁽²⁾), и виды, часто встречающиеся в нижней части чеганской свиты. *Cyrtodaria transcaspiica* Korob. et Miron. и *Isocardia eichwaldiana* Rom. var. *mica* Juvetsch. помимо чеганской свиты известны в исфаринской свите Средней Азии.

Над мергельными глинами без признаков несогласия залегают серовато-зеленые тонкослоистые некарбонатные глины до 120 м мощностью. В нижней части этих глин встречены мелкие нуммулиты. В глинах обнаружены следующие виды моллюсков: *Nucula compta* Goldf., *Nuculana perovalis* Koen., *Astarte bosqueti* Koen., *A. ustjurtensis* Iljina, *Cardita* (*Venericardia*) *luco-vichi* Ruch., *Bathyarca saxonica* Koen., *Cuspidaria variocostata* Korob., *C. piniae* Korob., *Corbula conglobata* Koen., *Ficus* (*Fulguroficus*) *crassistria* Koen., *Pleurotoma explanata* Koen., *Scaphander dilatatus* Phill. Большинство видов из этого комплекса относится к числу наиболее характерных видов для хадумского горизонта майкопской свиты Кавказа. В целом этот комплекс определяет олигоценовый возраст зеленых некарбонатных глин низовья Аму-Дарьи.

В породах нижней части верхнеэоценовых отложений, вскрытых бурением у сел. Чимбай, обнаружены две левые створки нового вида, диагноз которого приводится ниже.

Chlamys cisarica sp. n.

Рис. 1, 10, 11

Д и а г н о з. Левые створки маленькие (диаметр 4,5; 8,0 мм), обычного пектиноидного очертания, с апикальным углом $\sim 100^\circ$, с радиальной и концентрической скульптурой на наружной поверхности и укрепительными радиальными ребрами на внутренней. Радиальных ребер 50—52. Они двух порядков, чешуйчатые. Чешуйки ребер первого порядка бугорчатые вверх, остротреугольные в средней части ребра и подкововидные внизу. Чешуйки ребер второго порядка шиповидные. Межреберные промежутки у паллиального края в 2—3 раза шире ребер. Концентрические ребра очень тонкие, усаженные шипиками. Промежутку между двумя чешуйками основного радиального ребра соответствует 5—7 концентрических ребрышек. Переднее большее ушко несет 7, а заднее 4 радиальных ребра. На внутренней поверхности помимо негативной скульптуры видно 12 укрепительных ребер, начинающихся на различных расстояниях от макушки и оканчивающихся на разных уровнях вблизи паллиального края.

Ближние виды неизвестны.

Материал хранится в Музее кафедры исторической геологии Ленинградского государственного университета.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
27 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. А. Коробков, Тр. Геологической службы Грознефти, в. 9, 1937.

² И. А. Коробков, Тр. Нефтяного геол.-разв. инст., сер. А, в. 113, 1939.

³ А. Л. Я н ш и н, Геология Северного Приаралья, М., 1953.

В. М. МОРАЛЕВ

ВОЗРАСТ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД АЛДАНСКОГО ШИТА

(Представлено академиком Н. М. Страховым 11 II 1959)

За последние годы (1954—1959 гг.) в процессе проведения аэромагнитных, геолого-съемочных и поисковых работ на Алданском щите геологами производственных организаций Министерства геологии и охраны недр было открыто несколько массивов щелочных и ультраосновных пород. Первое время (до 1957 г.) эти своеобразные платформенные массивы центрального типа некоторыми исследователями (В. В. Архангельская, А. Г. Кац, С. П. Стоялов и др.) относились к комплексу послеюрских интрузий щелочных и субщелочных (щелочно-земельных) пород, широко распространенных на Алданском щите и получивших достаточно полное освещение в работах Ю. А. Билибина, Ю. К. Дзевановского (^{1,3}) и др. Позднее была высказана мысль (Ю. К. Дзевановский, В. М. Моралев, Н. Д. Зленко, А. А. Ельянов) о необходимости объединения интрузий ультраосновных — щелочных пород в особый комплекс, отличный от комплекса щелочных и щелочно-земельных пород, однако также принадлежащий по времени своего образования к мезозойской эре. Приблизительно в это же время стали известны данные Н. Н. Геракова и А. И. Пухарева (²) о более древнем возрасте ультраосновных пород Инаглинского массива (по сравнению с сиенитами) и о наличии в Алданском районе гальки щелочных пород в отложениях средней и верхней юры, что позволило этим авторам доказать существование более древних (чем послеюрские) интрузий щелочных и щелочно-земельных пород. Опираясь на указанные данные и учитывая материалы В. В. Архангельской и А. А. Ельянова (1956—1957 гг.) по Кондерской интрузии, где этими геологами также был установлен относительно более древний возраст дунитов и пироксенитов по сравнению с диоритами, монцонитами и щелочными породами, Ю. М. Шейнманн (1958 г.) высказал предположение (⁴) о возможной принадлежности ультраосновных и щелочно-земельных пород к различным интрузивным эпохам.

Новые данные, полученные в 1958 г. Н. Д. Зленко, Л. И. Махониной, А. Н. Мильто при изучении Ингилийского массива щелочных пород, позволяют решить остававшийся до того открытым вопрос о возрасте комплекса ультраосновных и щелочных пород Алданского щита.

Указанными исследователями были подтверждены наблюдения В. А. Ярмолюка (⁵) о существовании в среднем течении р. Ингили докембрийской (предюдомской) куполообразной структуры диаметром около 12—15 км, имеющей в плане овальную форму. В ядре Ингилийского купола обнажаются протерозойские гнейсы, амфиболиты и граниты, прорванные интрузией щелочных пород. Крылья сложены терригенно-карбонатными породами синийского комплекса, в составе которого выделяются отложения омахтинской, эннинской, омнинской, малгинской, ципандинской, лахандинской и кандыкской свит. Углы падения пород синийского комплекса вблизи протерозойского ядра нередко достигают 90° и почти везде не меньше 70—80°. По мере удаления от центра углы падения в синийских породах быстро уменьшаются до 50—30° и в 3—5 км от крайних выходов протерозоя составляют всего 5—10°.

Таким образом, устанавливается существование своеобразной куполовидной (диapiroобразной) структуры, в которой вокруг протерозойского ядра наблюдается крутой изгиб слоев при спокойном, практически горизонтальном, залегании последних на огромных, по площади, соседних территориях. Располагающийся в центральной части купола массив ийолит-мельейгитов окружен кольцом нефелиновых, канкринитовых и других сиенитов, вмещающих жильные тела карбонатитов. Концентрическое строение Ингилийского массива, так же как и других интрузий этого комплекса, подтверждается тем, что среди протерозойских гнейсов, в различной степени метаморфизованных, имеются жилы и тела неправильной формы, сложенные нефелиновыми сиенитами и карбонатитами. Куполообразная структура, аналогичная описанной выше, известна и в другом участке Алданского щита. На Кондерском массиве ультраосновных — щелочных пород наблюдается точно такой же резкий изгиб слоев осадочных синийских пород вокруг интрузии, как и на Ингили. Следовательно, и здесь имеется куполообразная структура, вполне аналогичная Ингилийской.

Естественно предположить, что образование указанных куполовидных структур генетически связано с интрузиями ультраосновных — щелочных пород. Специфика механики внедрения интрузий ультраосновного — щелочного состава, вероятно, обусловила образование специфических (куполовидных) структур, кстати сказать, совершенно не характерных для интрузий щелочных и щелочно-земельных пород.

Участие синийских отложений в строении Ингилийского и Кондерского куполов позволяет утверждать, что последние сформировались не ранее позднесинийского времени. В то же время доломиты и доломитизированные известняки юдомской свиты нижнего кембрия, как указывал В. А. Ярмолюк⁽⁶⁾, на участке Ингилийской структуры залегают горизонтально и не подвержены практически почти никаким дислокациям. Это подтверждается новыми данными Н. Д. Зленко, Л. И. Махониной и А. Н. Мильто, согласно которым кембрийские отложения ложатся горизонтально как на синийские, так и на протерозойские образования, а также и на щелочные породы, карбонатиты и фениты. Повсеместно в основании юдомской свиты отмечается горизонт песчаников, в которых нигде, даже в случаях непосредственного соприкосновения кембрийских пород со щелочными породами и фенитами, не фиксируется никаких контактовых изменений.

Благодаря тому, что доломиты юдомской свиты слагают водоразделы и вершины гор на участке Ингилийской структуры, на аэрофотоснимках великоленно дешифрируются соотношения кембрийских и синийских пород. Первые повсеместно залегают горизонтально, «бронируя» водоразделы и обуславливая своеобразие форм рельефа (столообразные возвышенности), а вторые вздернуты вблизи протерозойского ядра структуры, давая характерный рисунок вертикально залегающих или круто наклоненных слоев.

Приведенные данные позволяют дать вполне однозначное решение вопроса о возрасте Ингилийской куполообразной структуры и о времени внедрения Ингилийского массива щелочных пород и карбонатитов. Представляется также очевидной и принадлежность Ингилийского массива к комплексу ультраосновных — щелочных пород Алданского щита.

Таким образом, в настоящее время можно с полной уверенностью определить возраст всего комплекса как позднесинийский — докембрийский (предюдомский), а следовательно, доказать и его полную геологическую и генетическую самостоятельность.

Всесоюзный аэрогеологический трест
Министерства геологии и охраны недр СССР

Поступило
7 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Ю. А. Билибин, Петрография СССР, 1, в. 10 (1941). ² Н. Н. Гераков, А. И. Пухарев, Бюлл. научн.-техн. информ. Мин. геол. и охр. недр СССР, № 5/10 (1957). ³ Ю. К. Дзевановский, Матер. геол. и полезн. иск. Вост. Сибири, в. 19, 1945. ⁴ Ю. М. Шейнманн, Сов. геол., № 1 (1958). ⁵ В. А. Ярмолюк, Сборн. Матер. геол. и полезн. ископаемых Дальн. Востока, 1946.

С. В. МОСКАЛЕВА

О ВОЗРАСТЕ И СТРУКТУРЕ МАССИВА КРАКА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 19 II 1959)

Гипербазитовый массив Крака, расположенный на западном склоне Южного Урала, относится к крупнейшим гипербазитовым комплексам Урала. Однако изучен он сравнительно слабо, и до сих пор существуют самые противоречивые представления о его строении и возрасте и о взаимоотношении гипербазитов с окружающими их породами. Так, например, одни исследователи считают гипербазиты этого массива очень молодыми — пермо-карбоновыми, прорывающими вмещающие толщи (В. П. Логинов, К. П. Лященко), другие же признают их кембрийскими и более древними, чем окружающие толщи (Д. Г. Ожиганов (⁴, ⁵)).

Геолого-петрологические исследования этого массива, проводившиеся нами в последние годы, позволили выявить ряд важных и интересных его особенностей.

Массив Крака располагается в центральной части белорецко-зилаирского синклиория, образуя в нем антиклинальное поднятие. Синклиорий сложен серией вулканогенно-осадочных толщ, возраст которых, согласно Д. Г. Ожиганову, датируется от ордовика до верхнего девона, причем непосредственно к массиву примыкает вулканогенно-осадочная бетринская свита, имеющая возраст $S_2 - D_1$ (⁴, ⁵). В. П. Логинов, полагая, что массив Крака прорывает зилаирскую свиту (D_3), отнес его к пермо-карбоновым образованиям, и это его мнение получило широкое распространение. Однако новейшими исследованиями было установлено, что зилаирская свита нигде не контактирует с массивом и отделена от него полосой развития более древних отложений, относимых Д. Г. Ожигановым к бетринской свите ($S_2 - D_1$), а более поздними исследователями — к ордовика. Наши исследования контактов массива с окружающими его толщами также показали, что аспидные и филлитовидные сланцы и песчаники, контактирующие с массивом Крака, местами непосредственно по простиранию переходят в фаунистически охарактеризованные отложения ордовика.

В верховьях ключа Шейшного нами наблюдались следующие взаимоотношения между породами массива и окружающими его толщами. На серпентиниты массива, подвергшиеся обычно в контактовой зоне окремнению, непосредственно налегают конгломераты, галька которых представлена главным образом окремненными серпентинитами и в меньшей мере — кварцитами. Цемент конгломерата в основном кремнистый. К востоку, по мере удаления от гипербазитов, пачка конгломератов мощностью до 5 м сменяется гравелитами и затем песчаниками, по простиранию которых располагаются фаунистически охарактеризованные песчаники ордовика. Такие же конгломераты обнаружены нами и в других местах на контакте массива с песчаниками (рр. Б. Саргея, Сухоляд).

Следует отметить, что встреченные нами конгломераты по своему составу чрезвычайно сходны с описанными М. И. Гаранем конгломератами центральной зоны Урала (²), относимым им к айской свите (P_2 Ст^{als}). В краевой зоне массива серпентиниты секутся многочисленными дайками диабазов

входящих, по общему представлению, в состав пород бетринской свиты ($S_2 - D_1$).

При детальном изучении характера контактовых взаимоотношений пород массива с окружающими его толщами обращает на себя внимание та особенность, что близ контактов с любой из толщ, независимо от состава слагающих ее пород, гипербазиты массива подвергаются интенсивной серпентинизации, а непосредственно у контактов — и последующему окремнению, с образованием различных типов окремненных серпентинитов, в то время как в породах, примыкающих к массиву толщ, никаких приконтактных изменений не наблюдается. Такой характер контактов необычен для прорывающих интрузивных образований. Это подчеркивается не менее необычными соотношениями структур массива и окружающих его толщ.

В белорецко-зилаирском синклинии, в котором располагается массив Крака, все структуры имеют северо-восточное, близкое к меридиональному простирание, что вполне типично для уральской геосинклинали. В северо-восточном направлении вытянут также и массив Крака. Однако ориентировка первичных структур (полосчатость, трахитоидность) внутри самого массива резко не совпадает с этим общим для Урала направлением.

Массив Крака сложен гипербазитами, среди которых выделяется несколько разновидностей: дуниты, гарцбургиты, лерцолиты, верлиты, пироксениты, причем главную массу пород составляют гарцбургиты, близкие дунитам. Все эти разновидности располагаются полосами, соединенными между собой постепенными переходами. Такие полосы имеют отчетливое северо-западное простирание, близкое к широтному. В этом же направлении располагаются мелкие вытянутые тела пироксенитов, габбро, гранато-серпентинитовых пород. Эта особенность строения массива, отмеченная еще Г. А. Соколовым⁽⁶⁾, подчеркивается директивной текстурой и полосчатостью слагающих его пород, имеющих простирание $SZ\ 280-320^\circ$.

Трахитоидность, обусловленная более или менее субпараллельным расположением вытянутых зерен оливина и пироксена, присуща всем разновидностям гипербазитов и, как показывает детальное структурное картирование, распространена в массиве повсеместно. Падение плоскости трахитоидности — преимущественно на юго-запад под углом $60-80^\circ$ — также составляет локальную особенность массива Крака и не характерно для окружающих его толщ, которым свойственны восточные азимуты падения под сравнительно пологими углами ($10-40^\circ$).

Направление хромитовых шпиров, линз, участков густой вкрапленности и жилородных образований хромита также совпадает с ориентировкой полосчатости и трахитоидности вмещающих их гипербазитов и вытянуто в северо-западном направлении с падением главным образом на юго-запад под крутыми углами.

Ориентировка вторичных структур в массиве Крака не совпадает с ориентировкой его первичных структур и, как правило, имеет северо-восточное направление. Сюда относятся полосы интенсивных тектонических нарушений, широко распространенные в массиве Крака и проявляющиеся в виде густой трещиноватости, переходящей в тонкое рассланцевание. В участках наиболее резко выраженного рассланцевания отмечается появление ультрамилонитов с возникновением зон псевдотрахилитов. Секущее расположение таких зон относительно трахитоидности породы наблюдается даже под микроскопом, где можно видеть, что более или менее мощные полосы псевдотрахилитов всегда секут указанную текстуру породы.

Как известно, на Урале северо-западные простирания свойственны только древним толщам, имеющим докембрийский возраст. Больше того, это направление является одним из их диагностических признаков⁽¹⁾.

Таким образом, на основании изложенного фактического материала можно сделать следующие выводы.

1. Гипербазитовый массив Крака контактирует с ордовичскими образованиями, но не прорывает их. Присутствие на контактах его конгломера-

тов, подстилающих ордовичские отложения, позволяет судить о трансгрессивном налегании ордовика на массив.

2. Массив залегает в зоне белорецко-зилаирского синклинория и вытянут согласно простиранию самого синклинория и толщ, его образующих, в северо-восточном направлении.

3. Вторичные, более молодые, структуры массива ориентированы в том же северо-восточном направлении, совпадая с соответствующими элементами пород, образующих белорецко-зилаирский синклинорий.

4. Первичные структуры массива, пересекающиеся его вторичными структурами, имеют северо-западное простирание, т. е. совпадают с древнейшими регионально-структурными элементами Урала.

5. Эти данные заставляют полагать, что массив имеет не пермо-карбоновый возраст, как это было принято полагать, но более древний, чем окружающие его ордовичские и силурийские отложения. Наличие в массиве первичных структур северо-западного простирания, свойственных на Урале только его древнейшим толщам, соответствующим докембрийским комплексам Русской платформы, является косвенным указанием на возраст самого массива. Вполне вероятно, что формирование ультраосновных пород массива Крака происходило в те древнейшие времена, о которых... нельзя даже сказать, представлял ли тогда Урал самостоятельную геологическую область или был построен так же, как Сибирская или Русская платформа» ((³), стр. 14).

Всесоюзный научно-исследовательский
геологический институт

Поступило
4 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. И. Гарань, Тр. XVII Международн. геол. конгр., М.—Л., 1937, стр. 173.
² М. И. Гарань, Тр. Горно-геол. инст. Уральск. фил. АН СССР, в. 17, № 1, 1950.
³ Д. В. Наливкин, Геологическая история Урала, Свердловск, 1943.
⁴ Д. Г. Ожиганов, Геология хребта Урал-Тау и района перидотитового массива Южного Урала, Уфа, 1941. ⁵ Д. Г. Ожиганов, Уч. зап. Башкирск. гос. пед. инст., в. IV, 55 (1955). ⁶ И. А. Соколов, Тр. Ломоносовского инст. АН СССР, М., 1938.

Э. А. СЕВЕРОВ и Э. И. ТИХОМИРОВА

КАЙНОЗОЙСКИЕ БАЗАЛТЫ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ МОНГОЛЬСКОГО АЛТАЯ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 28 II 1959)

Во время полевых работ на южном склоне Монгольского Алтая в долине ручья Карачора (бассейн р. Ку-Иртыс) Э. А. Северовым были встречены необычные для данного района породы, образующие четко выраженные покровы на вершинах невысоких столовых гор. В поле породы были определены как базальты.

Базальтовый покров имеет практически горизонтальное залегание и видимую мощность от 10 до 50 м; верхние горизонты покрова, по-видимому, частично уничтожены эрозией. Имеется несколько близрасположенных выходов этих базальтов, разобщенных долинами небольших саев, однако общая площадь покрова невелика и не превышает первых квадратных километров. Базальтовый покров лежит на серых и зеленовато-серых кварцевослюдистых и кварцево-хлоритовых сланцах, относимых к среднему девону, и частично на более молодых, по-видимому, верхнепалеозойских, гранитоидных породах Верхне-Иртышского батолита. Сланцы очень сильно дислоцированы и в различных участках имеют разное залегание, однако преобладают крутые падения на В и ВЮВ ($85-120^\circ$) и СВ ($300-320^\circ$). В подошве базальтового покрова сланцы перематы еще более интенсивно, сильно трещиноваты и имеют буроватый цвет за счет ожелезнения.

Базальтовый покров довольно четко стратифицирован в вертикальном разрезе, однако мощности отдельных горизонтов варьируют чрезвычайно сильно. Наиболее часто встречающиеся разновидности — массивные базальты, слагающие нижнюю часть покрова, и пористые базальты, занимающие среднюю и верхнюю его части.

Внешний облик лав типичен для базальтоидных пород. Они имеют темно-серую до черной окраску, иногда с красноватым оттенком вследствие гематитизации. Петрографическое изучение пород, проведенное Э. И. Тихомировой, показало, что лавы чрезвычайно интересны по своему минеральному составу. Главными минералами, слагающими породу, являются оливин, моноклинный пироксен, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, анальцит; второстепенными — биотит и редко эгирин; вторичными — иддингсит, гематит и цеолиты.

О л и в и н. Среднее содержание в породе 15%. Образует идиоморфные кристаллы размером 0,3—0,4 мм. Оптически отрицательный. $2V = 88^\circ$. Частично или полностью замещен иддингситом.

П и р о к с е н (25—30% породы) представлен буровато-розовым или буроватым титан-авгитом со структурой песочных часов. $2V = 56^\circ$; $c : N_g = 48^\circ$, $N_g - N_p = 0,025$. Образует кристаллы изометричной или слабо вытянутой формы размером до 0,5—0,6 мм.

П л а г и о к л а з (25—30% породы) представлен олигоклазом № 18 ($n_g = 1,544$; $n_m = 1,539$, $n_p = 1,536$). Полисинтетические двойники (карлсбадские или альбитовые) обычно очень тонкие с нечеткими границами.

Встречаются кристаллы со слабо выраженным зональным строением, причем состав ядра приближается к первым номерам андезина, а периферическая часть имеет состав альбита. Размер кристаллов плагиоклаза — до 1,5 — 2 мм в длину.

Калиевый полевой шпат (10—15% породы) образует простые несдвоенные кристаллы размером до 1,5 мм в поперечнике с хорошей спайностью. Оптически отрицательный. $2V = 80^\circ$; $n_m = 1,531$. Частично замещается цеолитами.

Анальцит (5—10% породы) встречается в виде ксеноморфных зерен размером до 1,5 мм в поперечнике. Обычно заполняет промежутки между другими минералами. Спайность выражена слабо, $n = 1,494$. Структура породы от полнокристаллической до витрофировой, причем в витрофировых разностях отсутствуют калиевый полевой шпат и анальцит и вместо них присутствует бурое стекло с показателем преломления 1,518—1,520. Зерна плагиоклаза часто собраны в перистые пучки и обнаруживают тенденцию к вариолитовому строению. Встречаются разновидности лав, в которых роль стекла выполняет анальцит.

В табл. 1 приводятся химические анализы этих пород и их числовые характеристики, полученные путем пересчета по методу А. Н. Заварицкого (аналитик — З. Т. Катаева).

Таблица 1

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	П.п.п.	Сумма
Обр. № 1	49,00	3,08	13,95	9,03	1,89	0,26	5,68	7,56	3,36	3,76	1,32	1,53	не обн.	100,42
Обр. № 2	48,08	3,06	16,34	7,42	2,15	0,26	5,64	7,80	2,42	2,86	1,30	2,41	не обн.	99,75

	a	b	c	S	f'	m'	c'	n	t	φ	Q	a : c
Обр. № 1	12,9	25,7	2,9	58,5	37,8	37,9	24,5	57,4	4,6	29,8	11,7	4,45
Обр. № 2	10,1	22,8	6,5	60,6	40,0	44,5	15,5	55,8	4,6	29,2	5,5	1,55

Примечание. Образец № 1 — базальт массивный, образец № 2 — базальт пористый.

Как следует из петрографической характеристики и данных химических анализов, описанные породы являются весьма редкими образованиями и могут быть, очевидно, отнесены к группе щелочных анальцитовых базальтов. Основное отличие их от обычных анальцитовых и других щелочных базальтоидных пород заключается в том, что они содержат кислый плагиоклаз. Подобного рода базальтоидные породы с необычно кислым плагиоклазом и калиевым полевым шпатом были описаны лишь Г. Томасом в 1911 г. под названием скомеритов и марлезитов.

Прямых указаний на возраст описанных выше базальтоидных пород не имеется. Косвенные данные сводятся к следующему.

1. Горизонтальное залегание, значительная «свежесть» этих пород и отсутствие каких-либо признаков метаморфизма, в то время как все известные в этих районах палеозойские образования (мезозойские отсутствуют вообще) чрезвычайно сильно метаморфизованы и дислоцированы.

2. Отсутствие в них каких-либо гидротермальных образований, столь характерных в этом районе для всех метаморфических и изверженных пород.

3. Расположение базальтового покрова в небольшом опущенном тектоническом блоке, ограниченном разломами, причем только в этом блоке, расположенном в горной части района, гипсометрически ниже базальтов встречаются буро-красные третичные глины, широко распространенные в предгорьях Монгольского Алтая (к сожалению, непосредственные контакты базальтов и третичных глин не наблюдаются).

Перечисленные факты безусловно доказывают более молодой возраст базальтового покрова по сравнению со всеми известными на южном склоне Монгольского Алтая палеозойскими породами и позволяют с большой степенью вероятности параллелизовать их с кайнозойскими излияниями базальтовых лав, широко распространенными в восточной части Азии, и в частности на смежных территориях Монголии. В пределах же южных склонов Монгольского Алтая аналогичные базальтовые покровы ранее встречены не были.

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов
Академии наук СССР

Поступило
24 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Заварицкий, Изверженные горные породы, М., 1955. ² H. Theobald, The Skomer volcanic series (Pembrokeshire), J. Geol. Soc. London, 1911.

В. И. ТИХОНОВ

СХЕМА ТЕКТониКИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ п-о. КАМЧАТКИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 26 II 1959)

Полуостров Камчатка является звеном молодой складчатой зоны, входящей в Тихоокеанский пояс. Эта зона представляет собой молодую геосинклинальную область, продолжающую жить активной тектонической жизнью, которая ярко выражается как в процессах современного осадконакопления, так и в развитии молодых складчатых и разрывных структур, а также в интенсивной вулканической деятельности.

Понимание тектоники Камчатки имеет большое значение не только для выяснения геологического строения этой территории, но и для познания некоторых вопросов строения и развития всего Тихоокеанского пояса.

Вопросу тектонического строения Камчатки был посвящен ряд работ, из которых наиболее существенны работы А. Н. Заварицкого (^{7, 8}), О. С. Вялова (⁴), Б. Ф. Дьякова (⁶), М. Ф. Двали (⁵) и Г. М. Власова (¹⁻³). Все эти исследователи изображали тектоническое строение Камчатки в виде линейно вытянутых вдоль полуострова складчатых дуг, непосредственно связанных и продолжающих структурную зону Курильской островной дуги и развивающихся наследуя эти направления с палеозоя и даже протерозоя до наших дней. Лишь О. С. Вялов изобразил линейно вытянутые вдоль Камчатки структуры южнее п-о. Шипунского повернутыми в юго-восточном направлении. Молодой вулканический пояс Камчатки он полагал секущим этот поворот и являющимся продолжением пояса вулканов Курильской островной дуги. Эта верная мысль не нашла дальнейшего развития.

Тектонические схемы М. Ф. Двали, Б. Ф. Дьякова и первые Г. М. Власова — чрезвычайно близки между собой. Ведущими структурами Камчатки они считали следующие: антиклинорий Срединного Камчатского хребта, простирающегося меридионально; Восточно-Камчатский антиклинорий северо-северо-восточного простиранья; разделяющий их Срединный Камчатский прогиб и окаймляющие эти структуры Западно-Камчатский и Восточно-Камчатский прогибы. В своих последних тектонических схемах Г. М. Власов дополнительно выделяет Камчатско-Корякский антиклинорий, разделяющий Срединно-Камчатский прогиб на два прогиба-синклинория — Паланский и Центральный Камчатский. Центральная часть Срединного Камчатского антиклинория сложена, по Г. М. Власову, древними протерозойскими и палеозойскими породами меридионального простиранья, Камчатско-Корякский антиклинорий образован преимущественно кайнозойскими породами, а Восточно-Камчатский — мезозойскими. Западно-Камчатский синклинорий выполнен неогеновыми отложениями, Паланский — преимущественно позднемiocеновыми и плиоценовыми Центрально-Камчатский — неогеновыми и четвертичными и Восточно-Камчатский (Тюшевский) — миоценовыми и плиоценовыми отложениями.

В южных частях основных структур Г. М. Власов отмечает изменения их простиранья на юго-восточные, но, оставаясь последовательным в выделении двух структурных дуг, соответствующих большой и малой Курильским грядам, юго-восточнее Петропавловска он вновь придает им юго-западные простиранья.

О тектоническом положении молодого вулканизма на Камчатке наиболее определенно высказывались два исследователя — А. Н. Заварицкий и

М. Власов. А. Н. Заварицкий, оставляя в стороне складчатую структуру основания, связывал образования вулканов с двумя пересекающимися системами разломов — северо-восточного и северо-западного направлений. М. Власов выделяет два наложенных четвертичных вулканических пояса северо-восточного простирания: Срединный — четвертичный, перекрывающий частично северо-западный борт Камчатско-Корякского антиклинория юго-восточный Паланского синклиория; Восточный — современный, прослеживается от Ключевской группы вулканов на юго-запад до мыса Шопотка, перекрывая частично Центрально-Камчатский и Тюшевский прогибы и Восточно-Камчатский антиклинорий.

В течение последних трех лет (1956—1958 гг.) автор занимался изучением тектоники южной части Камчатки; изучен также материал предыдущих исследователей по геологическому картированию масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000 (5-го ГУ и Камчатского РГРУ). Кроме того, широко использованы данные аэрофотосъемки, аэромагнитной съемки. Анализ перечисленного материала привел автора к выводам, существенно отличным от выводов предыдущих исследователей по тектоническому строению Камчатки.

Мы выделяем в основном четыре крупных стратиграфических комплекса, на границах между которыми происходили наиболее интенсивные тектонические движения. Эти комплексы резко различаются между собой как по составу слагающих их пород, так и по степени метаморфизма и складчатости.

Комплекс домезозойский (условно палеозойский) представлен гнейсами, слюдяными сланцами, слюдястыми песчаниками, филлитами и сланцами. Комплекс мезозойский представлен главным образом туфогенно-кремнистыми породами и яшмоидами. Комплекс третичный сложен преимущественно слабометаморфизованными флишoidalными толщами (песчано-сланцевые породы) с подчиненным значением вулканогенных пород. Наконец, четвертый комплекс — вулканогенные отложения раннечетвертичного и современного возраста (возможно, частично, и верхнеплиоценового) — в основном базальты, андезиты и в меньшей мере риолиты, липариты и дациты, также их туфы и пирокластические образования.

Уже на первых этапах работы, при анализе различных материалов предыдущих исследователей, был подмечен на широте г. Петропавловска поворот тектонических структур к восточному берегу Камчатки, что не согласовывалось с существовавшими представлениями. В дальнейшем, при исследованиях в южных окончаниях Срединного и Ганальского хребтов, на Южно-Быстринском хребте и в бассейне верхнего течения р. Плотниковой, было установлено следующее.

Данные участки Срединного и Ганальского хребтов представляют собой крупные антиклинальные структуры, сравнительно просто построенные. В ядрах складок выходят породы домезозойского комплекса, на крыльях — породы мезозойского комплекса. Углы падения в крыльях структур достигают 30—40°, реже 50—60° (восточное крыло Ганальской антиклинали). Между двумя этими антиклиналями, в бассейне верхнего течения р. Плотниковой и Начикинского озера, располагается соизмеримый с упомянутыми антиклиналями синклинальный прогиб, названный Начикинским. Прогиб выполнен отложениями третичной системы, собранными в пологие складки (углы падения 10—20°), осложненные пологими надвигами. Оси всех отмеченных структур, имея на севере почти меридиональное простирание, на юге круто поворачивают на юго-восток, погружаясь в том же направлении.

Отложения всех свит названных комплексов в основных чертах наследуют структурный план нижних этажей.

В месте сопряжений антиклиналей с синклиналями находятся ослабленные зоны, выраженные зонами разломов. В этих зонах располагаются эруптивные аппараты современных и древнечетвертичных вулканов. На сопряжении антиклинали Срединного хребта (антиклиналь р. Степановой) с Начикинской синклиналью располагается ряд вулканов: Шапочка —

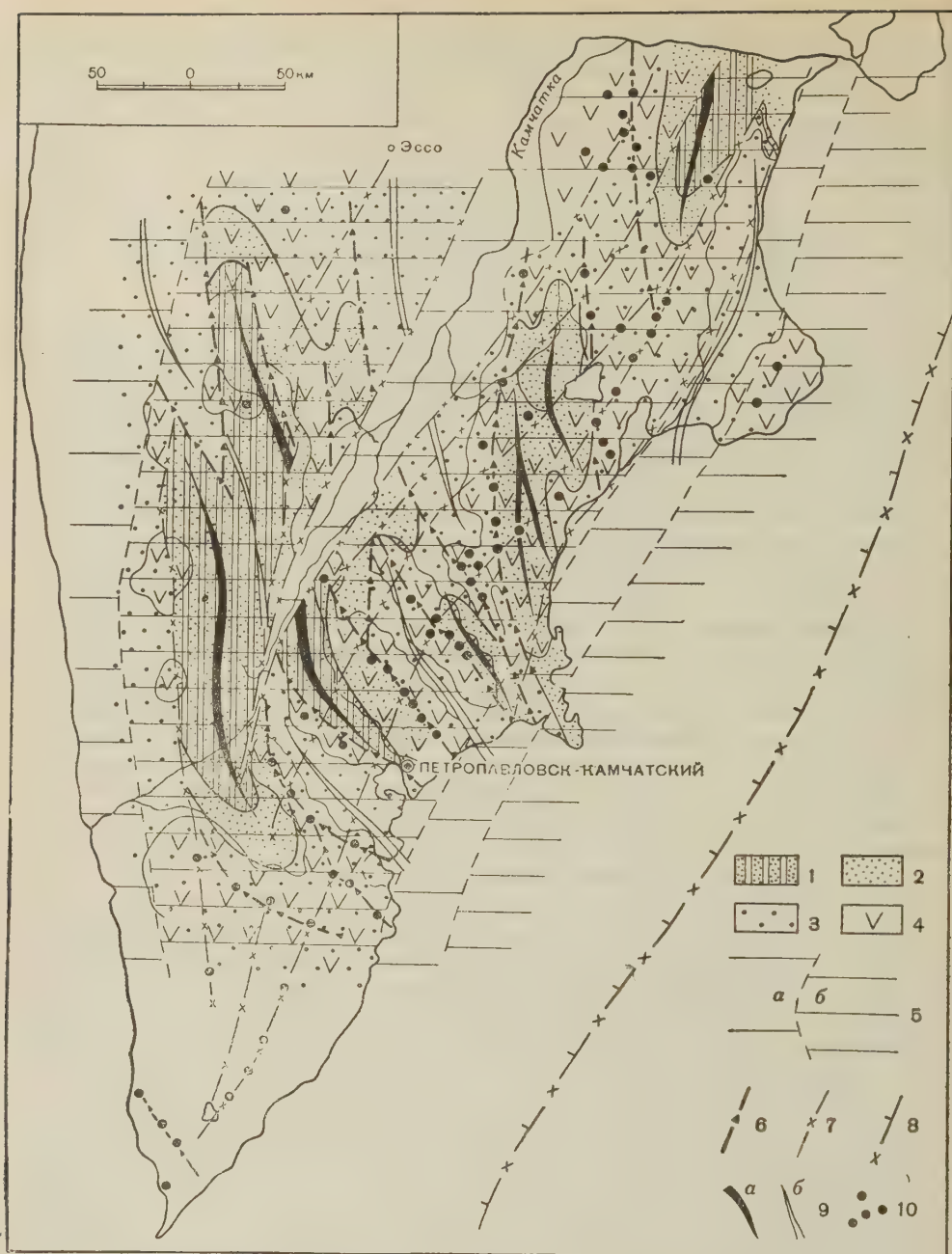


Рис. 1. Схема тектоники южной части Камчатки. 1 — домезозойский (палеозойский?) складчатый комплекс, 2 — мезозойский складчатый комплекс, 3 — третичный складчатый комплекс, 4 — области распространения молодого вулканизма (раннечетвертичный — современный), 5 — области молодых наложенных поднятий и пригибов (Курильское направление) (а — прогибы, б — поднятия). 6 — разломы, связанные с домезозойским, мезозойским и третичным складчатыми комплексами, 7 — разломы, связанные с областями молодых поднятий и прогибов (Курильское направление), 8 — тектонический уступ перед Курило-Камчатской впадиной, 9 — оси антиклиналей (а) и синклиналей (б), 10 — вулканы

Шемедоган — Вилючик. На сопряжении этой синклинали с Ганальской антиклиналью находятся два разрушенных вулкана: один — в районе г. Седло, другой — в верховьях р. Сокоч. Вдоль северо-восточного крыла Ганальской антиклинали располагается Корьякско-Авачинский ряд вулканов, а по юго-восточному борту антиклинали Срединного хребта — ряд Ипелька — Мутновский.

По аэрофотоснимкам установлено, что мелкие вулканы-паразиты располагаются линейно вытянутыми цепочками, совпадающими с направлением крупных разломов, ограничивающих борта Центральной Камчатской депрессии, и направлением Курило-Камчатской глубоководной впадины.

Кроме того, при сопоставлении данных геологической карты и материалов аэромагнитной съемки Западного геофизического треста (Л. А. Ривов, 1958 г.) отмечается, что Начикинский прогиб характеризуется положительными аномалиями магнитного поля, а ядра антиклиналей — отрицательными аномалиями. Эруптивные аппараты вулканов отмечаются резко варьирующими интенсивными магнитными максимумами, в то время как покровы эффузивных пород не отражаются на характеристике магнитного поля.

Учитывая все эти закономерности и анализируя материалы по геологии юго-восточной части Камчатки, приходим к следующим выводам по ее тектоническому строению (см. рис. 1):

1. Антиклиналь Ганальского хребта и восточная из антиклиналей, выделенных Б. Ф. Дьяковым⁽⁶⁾ в составе срединного хребта, по существу являются частями одной крупной антиклинали.

2. Структурное продолжение Паланского прогиба, сопряженного с названной выше антиклиналью, следует искать на восточной Камчатке, в бассейне р. Жупановой.

3. Начикинский прогиб, очевидно, является структурным продолжением крупной синклинали, выделенной А. Ф. Марченко в палеозойских толщах бассейна верхнего течения р. Колпаковой; эта синклиналь, возможно, имеет продолжение и в третичных образованиях Западной Камчатки.

4. Восточно-Камчатский хребет, состоящий из хребтов Ганальского, Валагинского, Тумрок и Кумроч, в дочетвертичное время не являлся единой структурной зоной, а, видимо, представлял ряд самостоятельных антиклиналей, разделенных синклинальными прогибами.

5. Все наиболее крупные синклинальные и антиклинальные структуры в северных своих частях имеют меридиональные или близкие к ним простирания, а в южных испытывают поворот к Тихому океану и, имея юго-восточные простирания, видимо, прослеживаются до Курило-Камчатской впадины, где и обрываются.

6. В четвертичное время произошло оживление тектонических движений в зоне Курило-Камчатской впадины, выразившейся на полуострове образованием наложенных поднятий и прогибов, ограниченных крупными швами разломов. Эти разломы и поднятия параллельны Курило-Камчатской впадине и продолжают дислокации Курильской островной дуги.

Другими словами, на складчатую дугу основания северо-северо-западного простирания, наложена молодая складчатая дуга, имеющая общее северо-восточное направление простирания и продолжающая развиваться и в настоящее время.

7. Движения по разломам Курильского направления выразились, вероятно, в сдвигах зоны Камчатского полуострова к югу по отношению к Курило-Камчатской впадине, что привело к открытию древних швов разломов, согласных с направлением нижних структурных этажей, и к активизации вулканической деятельности.

Предлагаемая тектоническая схема освещает лишь основные закономерности тектонического строения юга Камчатки и, естественно, требует дальнейших уточнений.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
12 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. М. Власов, Матер. по геол. и полезн. ископаемым Дальн. Востока, 1946.
² Г. М. Власов, Сов. геол., № 5 (1958). ³ Г. М. Власов, Геологическое строение СССР, ВСЕГЕИ, 3, 1958. ⁴ О. С. Вялов, Докл. АН УССР, № 6 (1952).
⁵ М. Ф. Двали, Геологическое строение и нефтеносность Восточной Камчатки, 1955.
⁶ Б. Ф. Дьяков, Геологическое строение и нефтеносность Западной Камчатки, 1955.
⁷ А. Н. Заварицкий, Тр. Совещ. по методам изуч. движений и деформаций земной коры, 1948. ⁸ А. Н. Заварицкий, Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, в. 10, 1955.

Ю. Ф. ЧЕМЕКОВ

ДРЕВНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕНУДАЦИОННОГО ВЫРАВНИВАНИЯ ПРИАМУРЬЯ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

(Представлено академиком И. П. Герасимовым 27 II 1959)

Произведенные нами за последние годы геолого-геоморфологические исследования на юге советского Дальнего Востока показали широкое развитие древних поверхностей денудационного выравнивания или, как мы их ранее называли, поверхностей длительной денудации (¹). Эти поверхности срезают в различной степени дислоцированные горные породы, не приспособиваясь к геологическим структурам. Для них характерно широкое развитие мощных кор выветривания. Морфологически они представляют слабо всхолмленные поверхности с широкими речными долинами без отчетливо выраженных террас, в которых протекают небольшие реки, нередко имеющие неясно выраженные русла. Долины разделяются невысокими плоско-выпуклыми водоразделами, сложенными коренными породами. Местами над ними поднимаются одиночные денудационные останцы высотой до 100—300 м с вогнутыми или выпукло-вогнутыми склонами или же группы их, образующие ландшафт мелкосопочника. Среди обширных полей мелкосопочника встречаются островные горные группы. Денудационные останцы и мелкосопочник обычно сложены наиболее устойчивыми к процессам выветривания горными породами (например, зеленокаменными, ультраосновными, диабазами, кварцевыми порфирами и т. д.). На Дальнем Востоке поверхности выравнивания заболочены, и их рыхлый покров нередко скован островной многолетней мерзлотой.

Древние поверхности денудационного выравнивания (ниже они условно называются для краткости ПДВ) развиты на интересующей нас территории почти повсеместно.

В юго-восточной части алданского выступа Сибирской платформы (Алданское нагорье) они встречаются в виде реликтов на абсолютных высотах до 900—1200 м. Минералогический состав развитых на них кор выветривания не изучался. Судя по работам Ю. А. Билибина, здесь развиты красноцветные и каолиновые коры выветривания. Наиболее древняя ПДВ имеет, по Д. М. Колосову, меловой возраст. Возможно, что некоторые поверхности являются более молодыми, третичными.

В зоне протерозойского складчатого окаймления юго-восточной части алданского выступа Сибирской платформы (система хребтов Станового — Джугджура) наблюдаются обширные реликты ПДВ на абсолютной высоте 800—2000 м. Они специально не изучались, и время их возникновения остается точно не определенным. Можно лишь по аналогии с Алданским нагорьем предположительно принять для них меловой — третичный возраст.

В Монголо-Охотской складчатой области описываемые поверхности широко распространены.

В Верхне-Зейской депрессии обширная территория к С, СЗ и З от русла р. Зеи и до подножья Станового хребта представляет Верхне-Зейскую ПДВ с мелкосопочником, денудационными увалами и островными возвышенностями, сформировавшуюся на докембрийских кристаллических по-

родах. ПДВ обрывается к р. Зее 50—80-метровым уступом, поднимаясь на 300—400 м к подножью Станового хребта; абсолютная высота ее соответственно изменяется от 300 до 700 м. Призейская часть ПДВ расчленена притоками р. Зеи, образовавшими врезанные меандры с обилием каньонообразных участков. К югу от широтного участка р. Зеи наблюдаются лишь отдельные обрывки ПДВ; здесь она постепенно погружается под толщу верхнемеловых—кайнозойских озерно-аллювиальных песчано-глинистых осадков. На описываемой поверхности повсеместно распространены коры выветривания каолинового типа мощностью до нескольких десятков метров. На севере Верхне-Зейская ПДВ через зону мелкосопочника, увалов и низкогогорья сочленяется с отрогами Станового хребта, на юге она обрвана горстовым взбросом хр. Тукурингра. Возраст Верхне-Зейской ПДВ определяется как донеогеновый — залеганием в обрывах древних русел неогеново-нижнечетвертичного валунно-галечникового аллювия яснополянской толщи. Однако в северной части ПДВ процессы выравнивания продолжались и в течение верхнетретичного-четвертичного времени, вплоть до настоящего времени. В районе пос. Журбан наблюдаются реликты доверхнемеловой (возможно верхнемеловой) Журбанской ПДВ под рыхлыми верхнемеловыми — палеогеновыми осадками.

Удская ПДВ развита по периферии Удской депрессии в виде расчлененных плоских увалов с относительной высотой до нескольких десятков метров. На ней местами сохранились коры выветривания (например, в районе пос. Баладек). Минеральный состав их не изучался. Возраст ПДВ предположительно верхнетретичный, так как более древние третичные отложения в этом районе довольно интенсивно дислоцированы.

В водораздельных частях хребтов Тукурингра и Джагды на абсолютной высоте 700—1000 м и более широко развиты обширные реликты ПДВ. Обнаруженные в хребте Тукурингра водораздельные галечники Золотой горы, аналогичные по характеру яснополянским, позволяют предполагать донеогеновый возраст Тукурингских поверхностей выравнивания.

В системе хребтов Буреинский — Ям-Алинь — Эзоп реликты ПДВ расположены как в предгорьях хребтов (преимущественно на западных склонах), так и в водораздельных частях на абсолютной высоте 700—2000 м. Количество ПДВ и их возраст не установлены. Можно предполагать, что они не старше верхнего мела — палеогена. ПДВ Буреинской депрессии, находящаяся на абсолютной высоте более 500 м, имеет возраст доверхнемеловой, так как на ней залегают верхнемеловые осадки, аналогичные (по исследованиям И. И. Сей) цагаянским.

В Сихотэ-Алинской мезозойской складчатой области (левобережье низовьев Амура и Сихотэ-Алинь) ПДВ распространены в значительных масштабах. В Эвороно-Чукчагирской депрессии ПДВ развиты на абсолютных высотах от нескольких десятков метров до 300 м с корами выветривания видимой мощностью до 8—10 м. Изученные нами коры выветривания в бассейне р. Горин относятся к каолиновому типу. Возраст их, по-видимому, третичный, так как каолиновый тип выветривания на Дальнем Востоке характерен для дочетвертичного времени. В пределах депрессии широко развиты участки мелкосопочника и денудационного низкогогорья (остаточных гор). Не исключена возможность, что разьединенные ныне участки ПДВ имеют различный возраст, как на это впервые для этого района указывали Е. В. Павловский и И. А. Ефремов (*).

В Средне-Амурской депрессии наблюдаются разрозненные реликты ПДВ на абс. высотах до 300 м. Из-за недостаточной изученности нельзя утверждать, относятся ли они к единой поверхности или разновозрастны. Последнее предположение, по-видимому, более правдоподобно. В описываемой депрессии развиты участки ПДВ, мелкосопочник и островные горы (хребты Помпеевский, Сутарский, Шуки-Поктой, Вандан, Хехцир и др.). Мелкосопочник и ПДВ встречаются по периферии островных гор внутри депрессии, а также и по окраинам последней. На Хабаровском участке

ПДВ широко распространены коры выветривания каолинового типа (изученные нами на участке от Хабаровска до пос. Малмыж). Эти коры выветривания, по-видимому, являются верхнетретичными, что позволяет датировать возраст Хабаровской ПДВ как верхнетретичный. Уссурийская депрессия характеризуется по периферии повсеместным развитием ПДВ с корами выветривания видимой мощностью более 20 м. Изученные нами с северной части депрессии коры выветривания относятся к каолиновому типу. В южной части ее А. И. Животовская⁽³⁾ обнаружила коры выветривания монтмориллонит-бейделлитового типа, имеющие плиоценовый возраст. Описанные ПДВ располагаются на абсолютных высотах не более 300 м. В указанном районе значительное развитие имеет мелкосопочник, расположенный в промежуточной зоне между ПДВ и горным рельефом.

Участки ПДВ, мелкосопочника и островных гор денудационного типа, возникших в процессе нисходящего развития рельефа, широко распространены в Амуро-Амгунской и Удиль-Кизинской депрессии на абсолютной высоте от нескольких десятков метров до 300 м. На описываемых ПДВ обнаружены коры выветривания (пос. Белая Глинка и др.).

Значительное развитие реликты поверхностей выравнивания имеют в Сихотэ-Алине на абсолютной высоте 800—1400 м. Большинство исследователей приходит к выводу о развитии здесь двух ПДВ: миоценовой и плиоценово-нижнечетвертичной^(2, 6, 8). Возраст их устанавливается на основании косвенных признаков, и в частности — по геоморфологическим соображениям, поэтому его нельзя считать точно установленным.

Наиболее обширная на Дальнем Востоке Нижне-Зейская ПДВ окаймляет^(7, 8) широкой полосой северную и восточную части Амуро-Зейской депрессии. Абсолютные высоты ПДВ не превышают 400 м. В различных ее частях расположены участки мелкосопочника, а местами и островные горы (пр. Октябрьский). Мелкосопочник сосредоточен в основном по периферии депрессии, в зоне сочленения с горными районами. Исключение составляет большой массив мелкосопочника и островных гор в среднем течении р. Мамы, остальная же территория Нижне-Зейской ПДВ сравнительно хорошо выравнена и ее почти равнинную поверхность нарушают лишь единичные денудационные останцы. Нижне-Зейская ПДВ срезает дислоцированные палеозойские и мезозойские осадочные породы (преимущественно на севере) и кристаллические докембрийские породы и разновозрастные гранитоиды (на востоке). К Ю и ЮЗ Нижне-Зейская ПДВ постепенно погружается под рыхлые отложения: вначале под верхнеолигоценовые — нижнечетвертичные пески зейской серии, затем под верхнемеловые — палеогеновые осадки цагайской серии. Таким образом, различные участки Нижне-Зейской ПДВ имеют разный возраст: доверхнемеловой, доверхнеолигоценовый и верхнетретичный-четвертичный (так как периферические участки описываемой ПДВ формировались вплоть до настоящего времени). Повсеместно развитые коры выветривания по термическим кривым и электронномикроскопическим снимкам относятся к каолиновому типу. В процессе формирования ПДВ происходило ее расширение за счет окаймляющих горных районов. Об этом говорит то, что периферические части ПДВ выходят из геологических границ Туранского срединного массива, захватывая часть зоны мезозойской складчатости. Характерно, что переход от ПДВ к Туранскому хребту происходит в следующей последовательности: ПДВ — мелкосопочник — увалы или низкогорье — горный рельеф, тогда как в северной части она сочленяется с хребтами Тукурингра и Джагды по зоне крупного взброса.

Как видно из вышеизложенного, поверхности денудационного выравнивания формировались в различных геолого-структурных зонах: на платформе (ЮВ часть Алданского нагорья), в области срединного массива (Амуро-Зейская депрессия), в зоне протерозойской складчатости (хребты Становой и Джугджур), в Монголо-Охотской и Сихотэ-Алинской складчатых областях в эпохи относительного тектонического покоя. Возраст их весьма различен (меловой, верхнемеловой, доверхнеолигоценовый, верхнетретич-

ный, миоценовый, плиоценовый, плиоценово-нижнечетвертичный). Характерной особенностью обширных ПДВ является различный возраст их разных участков (например, для Нижнезейской ПДВ от доверхнеолигоценового на юге до современного на севере).

Тесная пространственная связь мелкосопочника, денудационных увалов и островных гор (денудационного низкогорья) с поверхностями денудационного выравнивания говорит об их генетической связи. Все эти типы возникают в результате процесса нисходящего развития рельефа. Наблюдающаяся при переходе от гор к ПДВ закономерная смена типов рельефа: горный рельеф — денудационное низкогорье — денудационные увалы — мелкосопочник — ПДВ свидетельствует о том, что здесь наблюдается генетический ряд денудационных типов рельефа.

Из-за тектонической активности процесс денудационного нивелирования рельефа прекращался, не достигнув стадии пенеплена. Поэтому на Дальнем Востоке отсутствуют типичные пенеплены. Рассмотренные поверхности выравнивания нельзя также называть педи username, так как они формировались в условиях не аридного или семиаридного, а гумидного климата.

О существовании последнего говорят спорово-пыльцевые спектры и листовая флора из юрских, меловых и третичных осадков, не имеющая ксерофильного характера, а также каолиновый тип выветривания.

С описанными поверхностями на Дальнем Востоке связаны россыпные месторождения золота, касситерита, месторождения огнеупорных и кирпичных глин, минеральных красок и других полезных ископаемых, с перемывом кор выветривания могут быть связаны возможные россыпи золота и ильменита. Почти равнинный рельеф поверхностей выравнивания благоприятен для их культурного освоения в качестве сельскохозяйственных угодий. Эти обстоятельства заставляют обратить внимание на их дальнейшее изучение.

Всесоюзный научно-исследовательский
геологический институт

Поступило
25 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Т. Н. Байковская, Тр. Бот. инст. сер. VIII, Палеоботаника, 2, 47 (1956).
² Г. С. Ганешин, Матер. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1, 52 (1956). ³ А. И. Животовская, Матер. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1, 74 (1956). ⁴ Е. В. Павловский, И. А. Ефремов, Тр. Сов. по изуч. производ. сил АН СССР, сер. Дальневост., 1 (1933). ⁵ М. А. Седова, Тр. I сессии Всесоюз. палеонтол. общ. 24—28 янв. 1955, М. (1957), стр. 203. ⁶ Ю. Ф. Чемек ов, В сборн. Вопр. геол. Азии, 2, 272 (1955). ⁷ Ю. Ф. Чемек ов, Матер. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1, 42 (1956). ⁸ Ю. Ф. Чемек ов, Матер. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1, 104 (1956).

В. И. ШЕВЧЕНКО

МОСОЛОВСКИЙ ГОРИЗОНТ СТАЛИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 20 II 1959)

За время, прошедшее после принятия единой унифицированной схемы стратиграфии для палеозойских отложений (1951 г.), на территории Русской платформы получен большой фактический материал, позволяющий уточнить, а в отдельных частях и изменить ее.

Одним из вопросов, требующих уточнения, является вопрос об объеме эйфельского и живетского ярусов и об их границе.

Мосоловский горизонт, впервые выделенный А. И. Ляшенко⁽²⁾, был условно отнесен к нижеживетскому подъярусу по унифицированной схеме 1951 г. А. И. Ляшенко^(3,4) высказал предположение о возможной принадлежности мосоловского горизонта к эйфельскому ярусу, а также о сопоставлении его с бийскими слоями Урала. С. И. Шевцов⁽¹⁰⁾ в полосе стыка уральских и платформенных типов разреза установил бийско-мосоловские комплексы остракод. В связи с этим он считает мосоловский горизонт и бийские слои одновозрастными. Л. Н. Егорова⁽¹⁾ на основании изучения остракод высказала предположение о сопоставлении бийских слоев с мосоловскими и морсовскими отложениями.

Мосоловский горизонт в пределах Сталинградской обл. был условно выделен М. А. Нечаевой, П. А. Карповым и В. С. Наумкиной⁽⁵⁾. Фаунистически он не был охарактеризован.

За последнее время в рассматриваемых отложениях нами был встречен комплекс фауны брахиопод и остракод, характерный для мосоловских отложений Центральных областей Русской платформы.

Вместе с тем, получены данные, позволяющие сопоставлять мосоловский горизонт с бийскими слоями Урала.

Отложения мосоловского горизонта на территории Сталинградской обл. были вскрыты и изучены на Абрамовской, Миронычевской, Ивановской и Кленовской площадях. Литологический состав горизонта изучался П. А. Карповым.

Фауна брахиопод и остракод изучалась автором настоящей статьи, она была также просмотрена А. И. Ляшенко.

Мосоловский горизонт во всех охарактеризованных kernom разрезах сложен известняками с отдельными прослоями бурых битуминозных мергелей и аргиллитов.

Известняки преимущественно пелитоморфные и тонкозернистые, реже мелкодетритусовые. Цвет известняков в разрезе Ивановской площади светло-серый, серый и прослоями буровато-серый, а на Абрамовской, Миронычевской и Кленовской площадях — темно-серый.

Мощность мосоловского горизонта в пределах рассматриваемой территории выдерживается и равна 50—60 м.

В породах мосоловского горизонта определены брахиоподы *Productus mosolovicus* Ljasch., *Atrypa crassa* Ljasch., *A. cf. crassa* Ljasch., *Spirifer (Ilmenia) mosolensis* Ljasch. и остракоды *Bairdia holuschurmensis* Pol., *Microcheilinella affinis* Pol., *M. larionovae* Pol., *Voronina voronensis* Pol.

Нижняя граница мосоловского горизонта на Кленовской, Ивановской и Миронычевской площадях проводится по смене ангидритово-доломитовых пород известняками, а на Абрамовской площади — глинами.

Верхняя граница горизонта проводится по резкой литологической смене известняков аргиллитами вышележащего горизонта. В этих аргиллитах со-

держится фауна брахиопод: *Productella* ex gr. *morsovensis* Ljasch., *Atrypa* cf. *sokolovae* Ljasch., *Atrypa* ex gr. *reticularis* Linn., *Spirifer* (*Ilmenia*) aff. *mosolensis* Ljasch. Перечисленный комплекс фауны брахиопод резко отличается от мосоловского.

На Абрамовской площади, в скважине № 12, отложения мосоловского горизонта с глубины 2370—2380 м представлены известняками, темно-серыми, пелитоморфными, мелкозернистыми, с фауной брахиопод и остракод. В известняках определены брахиоподы *Productus* cf. *mosolovicus* Ljasch., остракоды *Bairdia holuschurmensis* Pol., *Microcheilinella larionovae* Pol., *Microcheilinella affinis* Pol.

В известняке с глубины 1459—1467 м скважины № 23 этой же площади была определена *Voronina voronensis* Pol.

В скважине № 8 Миронычевской площади известняки с глубины 2377—2384 м содержат брахиоподы *Spirifer* (*Ilmenia*) *mosolensis* Ljasch. и остракоды *Bairdia holuschurmensis* Pol., *Microcheilinella affinis* Pol.

На Ивановской площади керном охарактеризована нижняя часть мосоловского горизонта, представленная известняками, светло- и буровато-серыми, тонкозернистыми, детритусовыми с прослоями коричневых битуминозных мергелей.

В известняках с глубины 2125—2130 м скважины № 6 определены брахиоподы *Productus mosolovicus* Ljasch., *Atrypa* cf. *crassa* Ljasch., *Spirifer* (*Ilmenia*) *mosolensis* Ljasch. Из остракод Е. Н. Поленовой определена *Voronina voronensis* Pol. Известняки с глубины 2196—2199 м скважины № 7 содержат брахиоподы *Productus mosolovicus* Ljasch., *Atrypa* sp., *Spirifer* (*Ilmenia*) *mosolensis* Ljasch.

В известняках, залегающих на глубине 2766—2769 м Кленовской скважины № 5, были определены *Bairdia holuschurmensis* Pol., *Microcheilinella* sp. Как видно из изложенного, отложения мосоловского горизонта Сталинградской обл. литологически резко отличаются от подстилающих и покрывающих пород и поэтому хорошо отбиваются на электрокароттажных диаграммах. Комплекс фауны брахиопод включает почти все формы, характерные для мосоловских отложений центральных областей Русской платформы. Комплекс фауны остракод включает как формы (*Voronina voronensis* Pol.), характерные для мосоловских отложений Центральных областей Русской платформы, так и формы *Bairdia holuschurmensis* Pol., *Microcheilinella affinis* Pol., *M. larionovae* Pol., характерные для бийских слоев Урала.

Следовательно, смешанный комплекс фауны бийских слоев и мосоловского горизонта характерен не только для полосы стыка уральских и платформенных типов разреза⁽¹⁰⁾, но он зафиксирован нами и в разрезах северной и западной частей Сталинградской обл. Полученные данные позволяют нам сопоставлять мосоловский горизонт Сталинградской обл. с мосоловскими отложениями Центральных областей Русской платформы и с бийскими слоями западного склона Урала.

Так как бийские слои, по данным исследователей⁽⁶⁻⁹⁾, имеют эйфельский возраст, то совершенно правильно было бы рассматривать мосоловский горизонт в составе эйфельского яруса.

Центральная научно-исследовательская лаборатория
треста «Сталинграднефтегазразведка»

Поступило
18 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Н. Егорова, Бюлл. МОИП, отд. геол., **33**, в. 4 (1958). ² А. И. Ляшенко, ДАН, **91**, № 1 (1953). ³ А. И. Ляшенко, Бюлл. МОИП, отд. геол., **29**, в. 3 (1954). ⁴ А. И. Ляшенко, Сбор. Нефтегазоносность Урало-Волжской области, М., 1956, стр. 135. ⁵ М. А. Нечаева, П. А. Карпов, В. С. Наумкина, Новости нефт. техн., отд. геол., **2** (1956). ⁶ Е. Н. Поленова, Тр. ВНИГРИ, в. 37 (1955). ⁷ А. А. Рождественская, Сборн. Впр. геоморфол. и геол. Башкирии, в. 1 (1957). ⁸ Б. С. Соколов, Тр. ВНИГРИ, в. 62 (1952). ⁹ Н. Я. Спасский, Тр. ВНИГРИ, в. 90 (1955). ¹⁰ С. И. Шевцов, ДАН, **122**, № 3 (1958).

А. В. КОПЕЛИОВИЧ

О ПРОИСХОЖДЕНИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ДРЕВНИХ ТОЛЩАХ ЮГО-ЗАПАДА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 24 III 1959)

В породах осадочного покрова Русской платформы издавна известны многочисленные проявления свинцово-цинковой минерализации, обычно представляющие собой редкую рассеянную вкрапленность сульфидов свинца и цинка в разных породах. Многие исследователи не без основания полагают, что эти проявления и некоторые промышленные типы вкрапленных свинцово-цинковых руд, приуроченных к осадочным породам, возникают в результате действия сходных геохимических процессов. Изучение рассеянной свинцово-цинковой минерализации в осадочных породах платформенного чехла с этой точки зрения представляет определенный интерес.

В доготландских толщах юго-западной части Русской платформы известны следующие формы концентрации сульфидов свинца и цинка: 1) выполнения внутренних полостей фосфоритовых конкреций в толще глинистых пород калюсского горизонта (Подолія); 2) прожилки в песчаниках могилевской свиты на р. Дерло; 3) спорадическая вкрапленность в песчаниках разных горизонтов могилевской и ущицкой свит. Единичные находки галенита и сфалерита отмечаются также в известняках готландия⁽¹⁰⁾.

Рудопроявления, связанные с фосфоритовыми конкрециями, изучались многими исследователями. Геологии, минералогии и генезису этих образований посвящены работы Е. К. Лазаренко⁽⁵⁾, Е. П. Фурман⁽¹⁰⁾, М. М. Константинова⁽³⁾, Ф. М. Малиновского⁽⁶⁾ и др. Фосфоритовые конкреции в Подоліи и на территории правобережья Днестра локализованы в отложениях калюсского * горизонта ущицкой свиты, сложенного микрослоистыми аргиллитами (сланцами), обогащенными органическим веществом. В основании горизонта отмечаются пропластки песчаников. Непосредственно ниже залегают эпигенетически измененные песчаники джуржевского горизонта, мощностью от 4 до 25 м.

Во вмещающих аргиллитах фосфориты распределены закономерно, группируясь в ряды-горизонты, направление которых строго совпадает со слоистостью. Расстояние между ними колеблется в широких пределах: от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. Число таких рядов в далеко отстоящих обнажениях различно и достигает 10⁽¹⁰⁾.

Конкреции обладают радиально-лучистой структурой и сложены криптокристаллическим фосфатом, отвечающим фторапатиту⁽¹⁰⁾. Внутри них наблюдаются небольшие полости звездчатой формы, с радиально расходящимися каналцами, нередко расширяющимися к периферии. Полости обычно выполнены Мп-содержащим кальцитом, каолинитом, реже кварцем, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, пиритом и некоторыми вторичными минералами, среди которых доминируют окислы марганца.

* Калюсскому горизонту соответствует продуктивная свита Н. И. Ларина и Т. А. Светозаровой, сланцы наславче Т. Васкауцану, миньковецкий горизонт Г. Х. Диккенштейна.

Прожилки галенита в песчаниках могилевской свиты развиты ограниченно. Они известны в районе Могилев-Подольска по р. Дерло, где изучались Н. М. Ивантишиным⁽²⁾. Здесь в кварцитовидных песчаниках могилевской свиты на протяжении десятков метров прослеживаются крупные трещины отдельности сколового типа с простиранием 320 и 50—60° и вертикальным падением. По трещинам наблюдаются выделения галенита, нередко ассоциирующие с серым, иногда гребенчатым кварцем. Выделения галенита в трещинах имеют форму мелких и крупных сильно уплощенных кристаллов кубического облика, размером в плоскости трещин до 2 см, при толщине в 1—2 мм. Уплощенные гексаэдры нередко сливаются в сплошные агрегаты, образуя нитевидные прожилки. Выделения галенита такого же характера иногда наблюдаются вдоль поверхностей слоистости песчаников, где они обычно окислены и замещены ярко-желтыми свинцовыми охрами. С галенитом ассоциируют серый и гребенчатый кварц, Мп-содержащий кальцит, а иногда сфалерит и флюорит⁽²⁾.

Рудопроявления в форме редкой спорадической вкрапленности галенита и сфалерита известны сравнительно недавно. Единичные кристаллики галенита, до 2 мм в поперечнике, обнаружены нами в образце грубозернистого песчаника олчедаевского горизонта могилевской свиты в окрестностях с. Верхний Олчедаев. Выделения галенита и иногда сопутствующего ему флюорита связаны с роговиковым кварцем, выполняющим поровые промежутки и цементирующим регенерированные зерна кварца и полевые шпаты. В песчаниках джуржевского горизонта в районе с. Мерешевка В. П. Курочка* наблюдал обильную вкрапленность галенита с размером кристалликов менее 1 мм. Спорадическая редкая вкрапленность галенита установлена нами в кварцитовидных аркозовых песчаниках этого же горизонта в Мирнинской опорной скважине (глубина 1482 м). Сфалерит в джуржевском горизонте обнаружил М. Ф. Стащук⁽⁷⁾ в районах сс. Липачаны, Миньковцы и Лядова, а автор — в Каушанской опорной скважине (интервал 1352—1356 м). Кроме того, М. Ф. Стащук отмечены обильные выделения сфалерита в кварцевом цементе песчаников бернашевского горизонта из Борщова Яра около Могилев-Подольска.

В известняках залещицкого горизонта (готландий) Е. П. Фурман⁽¹⁰⁾ обнаружила небольшие (0,1—0,8 см) неправильные выделения галенита. Иногда галенит располагается в виде тонких пленок по трещинкам или выполняет мелкие (размером 0,3—0,5 см) жеоды, часто совместно с окислами железа. С. Г. Дромашко⁽¹⁰⁾ установлено присутствие сфалерита в черных толстоплитчатых битуминозных известняках смотричской свиты. Кажущаяся ограниченность числа известных проявлений сульфидов свинца и цинка в готландских и более древних отложениях юго-запада платформы обусловлена их недостаточной изученностью. Имеющиеся уже сейчас данные указывают не только на широкое площадное развитие свинцово-цинковой минерализации (обнажения по Днестру Одесса — Молдавия), но и на значительный вертикальный размах последней (от могилевской свиты до известняков готландия).

О происхождении некоторых рассмотренных проявлений галенита и сфалерита высказывались различные гипотезы.

М. М. Константинов⁽³⁾ и Ф. М. Малиновский⁽⁶⁾ считают, что сульфиды, приуроченные к фосфоритовым конкрециям, генетически тесно связаны с ними и возникли в диагенезе. Фосфатное вещество, концентрировавшееся в шарообразные стяжения, сорбировало тяжелые металлы из осадка. Позднее при раскристаллизации фосфатных сгустков, происходил приток различных соединений из вмещающих пород. Таким путем достигалось их полное очищение от тяжелых металлов.

Е. К. Лазаренко⁽⁵⁾ и Е. П. Фурман⁽¹⁰⁾ в результате детального изучения минералов конкреций, их взаимоотношений и последовательности об-

* Устное сообщение.

разования считают, что фосфоритообразование и сульфидизация генетически между собой не связаны, а протекали одновременно. На это указывает отложение сульфидов и ассоциирующих с ними минералов на поверхности колломорфных сферолитовых образований и почковидных корочек гидроксилapatита, выстилающих полости в конкрециях и возникших в завершающую стадию диагенеза. Отложение сульфидов во внутренних полостях фосфоритовых конкреций, по мнению Е. П. Фурман (10), происходило из низкотемпературных (50—60°, по данным термозвукового анализа галенита и сфалерита) растворов, формировавшихся в зоне гипергенеза Украинского кристаллического массива и просачивавшихся сквозь толщи пород, перекрывавших фосфоритоносный горизонт.

Прожилки галенита в песчаниках могилевской свиты в районе р. Дерло рассматриваются Н. М. Ивantiшиным (2) как гидротермальные образования магматогенной природы. Эти представления, по-видимому, разделяет и Е. П. Фурман (10).

Недостатком изложенных представлений является изолированное рассмотрение генезиса отдельных форм рудопоявлений в отрыве от других и без учета литологических особенностей вмещающих пород, тогда как все проявления свинцово-цинковой минерализации региона обладают значительным сходством парагенетических ассоциаций рудных и нерудных минералов. Такое постоянство парагенезисов, несмотря на рассредоточенность минерализации по разрезу и площади, указывает на общность их происхождения.

Детальное изучение литологических особенностей пород, слагающих рассматриваемую область, показало их глубокую эпигенетическую преобразованность, особенно интенсивную там, где они глубоко погружены (скважины Мирное, Каушаны). В этих разнообразных и сложных преобразованиях существенную роль играют процессы растворения главных кластических компонентов песчаников — кварца, полевых шпатов, слюд, замещение их вторичными минералами, в том числе карбонатами, с возникновением кварцевых цементах различного типа и разнообразных аутигенных минералов (4). В песчаниках джуржевского горизонта, непосредственно подстилающих фосфоритоносные слои, широко развиты явления эпигенетического замещения полевых шпатов каолинитом и Мп-содержащим кальцитом. Каолинитом замещается также хлоритовый цемент ранних стадий, а кальцитом — и кварц. Как показали подсчеты, при эпигенетическом преобразовании песчаников растворением и замещением охватывается огромное количество обломочного материала (десятки процентов). Этот процесс и определяет появление свинцово-цинковой минерализации пород.

Как известно, свинец, цинк и медь являются элементами, постоянно присутствующими в горных породах. Средний весовой кларк свинца составляет $1,6 \cdot 10^{-3}$, меди 0,01. Для цинка весовой кларк определяется Кларком и Вашингтоном как 0,004, В. И. Вернадским 0,04. В. и И. Ноддаками 0,02, А. П. Виноградовым (1949 г.) 0,005. В изверженных горных породах гранитоидного ряда содержание свинца заметно выше среднего кларкового и, по данным Гевеши, составляет около $30 \cdot 10^{-4}$. Л. В. Таусон и Л. А. Певцова (8) установили, что в гранитоидах каледонского комплекса Центрального Тянь-Шаня содержание свинца колеблется от $1,9 \cdot 10^{-3}$ до $3,4 \cdot 10^{-3}$, а цинка от $1,2 \cdot 10^{-3}$ до $6,1 \cdot 10^{-3}\%$. Среднее содержание свинца в гранитах и гранодиоритах из разных районов по 430 анализам, согласно Л. В. Таусону и З. В. Студениковой (9), составляет $2,2 \cdot 10^{-3}$, а цинка по 215 анализам $4,5 \cdot 10^{-3}\%$.

Геохимические исследования выявили наличие закономерной связи этих элементов с породообразующими минералами. На связь свинца с калиевыми полевыми шпатами указал еще В. М. Гольдшмидт. Л. В. Таусон и З. В. Студеникова (1,9) на основании прецизионных анализов породообразующих минералов установили, что главная масса свинца, содержащегося в гранитоидных породах, заключена в полевых шпатах и биотите, а цинка — в биотите

и роговых обманках; при этом указанные элементы подвергаются избирательному выщелачиванию из пород и минералов при воздействии слабых растворителей.

Из этих закономерностей вытекает вывод, что обломочные породы, образовавшиеся в результате дезинтеграции гранитоидов, в частности аркозовые песчаники, должны содержать свинец и цинк в количествах, свойственных гранитоидам. Свинец должен концентрироваться в полевых шпатах и биотите, а цинк — в биотите и роговых обманках.

Спектральный анализ обломочных зерен полевого шпата, отобранных из различных горизонтов песчаников и гравелитов могилевской свиты, показал повышенное содержание свинца (от тысячных до сотых долей процента). Под воздействием эпигенетических процессов тяжелые металлы, заключенные в обломочном материале в рассеянной форме, мобилизуются и концентрируются, образуя сульфидные скопления различной формы.

Связь рудной минерализации с процессами эпигенеза подтверждается рядом наблюдений. Так, во вкрапленном типе минерализации галенит и сфалерит ассоциируют с кварцем, а иногда флюоритом, которые выполняют поровые промежутки в песчаниках, образуя цемент последних. Кварц, каолинит и Мп-содержащий кальцит, являющиеся характернейшими аутигенными образованиями при эпигенезе песчаников, сопутствуют галениту и сфалериту в полостях фосфоритовых конкреций.

Эпигенетическое растворение и замещение обломочных минералов и переход в раствор составляющих их элементов неизбежно сопровождаются переходом в раствор и заключенных в их решетках микроэлементов, в том числе бария, свинца, цинка, меди и др. Поскольку эти процессы протекают в водной среде, содержащей бикарбонаты кальция, вероятно, хлориды щелочей и щелочных земель, можно полагать, что ионы свинца и цинка, переходящие в раствор, удерживаются в нем в форме хлоридов и бикарбонатов, приобретающая способность мигрировать на заметные расстояния.

Дальнейшая судьба этих элементов определяется физико-химическими условиями среды миграции. В прослоях, обогащенных сульфатами, барий образует баритовый цемент. Свинец, цинк и медь выделяются в виде сульфидов в тех участках толщи, где возникают по тем или иным причинам, не всегда достаточно ясным, повышенные концентрации сероводорода. Этим, видимо, и объясняется неравномерный, а в ряде случаев случайный характер распределения галенита и сфалерита в различных частях разреза древних толщ.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
18 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. И. Гинзбург, Л. Г. Фельдман, О. Д. Ставров, Сов. геол., № 4 (1958). ² Н. М. Ивантишин, Геол. журн., 8, в. 3 (1947). ³ М. М. Константинов, Вопр. минералогии осадочных образований, кн. 1, Львов, 1954. ⁴ А. В. Копелиович, Изв. АН СССР, № 11 (1958). ⁵ Е. К. Лазаренко, Минералогич. сборн., Львов, № 1 (1947). ⁶ Ф. М. Малиновский, Зап. Всесоюз. минерал. общ., 34, № 1 (1955). ⁷ М. Ф. Сташук, Минералогия и литология древнепалеозойских отложений среднего Приднестровья и связанные с ними полезные ископаемые, Киев, 1957. ⁸ Л. В. Таусон, Л. А. Певцова, ДАН, 103, № 6 (1955). ⁹ Л. В. Таусон, З. В. Студеникова, Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса, М., 1959. ¹⁰ Е. П. Фурман, Вопр. минералогии осадочных образований, кн. 1, Львов, 1954.

Ю. В. ТЕСЛЕНКО

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЦИКАДОФИТОВ В ЮРЕ СИБИРИ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 22 I 1959)

Обобщая многолетние исследования юрских флор Сибири, В. Д. Принада⁽⁴⁾ и В. А. Вахрамеев⁽²⁾ указывали, что цикадофиты в составе гингово-хвойных лесов, покрывавших юрскую сушу в Сибири, были крайне редки. Их количество возрастало по направлению к югу, к районам Средней Азии, и к востоку, к областям Дальнего Востока, где они уж играли весьма заметную роль.

Изредка встречающиеся представители цикадофитов в юрской флоре Сибири обычно рассматривались как отголосок влияния растительности более теплых окраин Ангарского материка. Их находки были в основном приурочены к южным районам Сибири: Иркутскому бассейну, Забайкалью, Чулымо-Енисейскому и Кузнецкому бассейнам. Здесь среди обычных юрских форм папоротников, гинкговых и примитивных хвойных отмечены единичные представители родов *Nilssonia*, *Zamites*, *Anomozamites*, *Ctenis*, *Pterophyllum*, *Ptilophyllum*, *Dioonites*. На территории северной Сибири находки цикадофитов были неизвестны, что позволило В. Д. Принаде⁽¹⁾ предположить их полное отсутствие в составе юрских флор этих районов.

В последнее время, в результате бурения на севере и в центральной части Западно-Сибирской низменности, получены новые данные о распространении цикадофитов в юре Сибири. Скважинами в районе Туруханска на Енисее, Пудино (бассейн р. Парабель) и Колпашево (среднее течение Оби) в континентальных отложениях средней юры найдены отпечатки листьев цикадофитов.

В районе Туруханска описываемые отложения представлены слабо сцементированными мелкозернистыми песчаниками и алевролитами. Их среднеюрский возраст установлен по спорово-пыльцевому спектру, типичному для средней юры Западно-Сибирской низменности: преобладание спор папоротников *Coniopteris* и *Leiotriletes*, небольшое количество пыльцы голосеменных. Здесь найдены отпечатки *Nilssonia comtula* Hr., переполняющие породу, *Dioonites* sp. и впервые отмечаемого в Сибири *Sagenopteris philipsii* (Brongn.) Presl. Выше залегают морские отложения с фауной моллюсков бат-келловейского возраста.

В Пудино среди многочисленных растительных остатков, характеризующих толщу среднеюрских отложений, в самой верхней части разреза последних, в светло-серых алевролитах обнаружен отпечаток *Turgmia polinovii* (Novopokr.) Pryn. Несколько выше встречены морские осадки с фауной верхнеюрских пелеципод.

В районе Колпашево в двух скважинах в верхних пачках континентальных отложений средней юры Т. Л. Дервиз⁽³⁾ была определена *Nilssonia* ex gr. *compta* Pryn. Выше по разрезу следуют морские осадки с фораминиферами верхней юры.

При сопоставлении этих данных бросается в глаза следующая особенность: повсеместно в указанных точках остатки цикадофитов были нахо-

димы в самых верхних горизонтах среднеюрских континентальных отложений, непосредственно граничащих с кроющими их морскими осадками, охарактеризованными фауной фораминифер или моллюсков. В нижележащих слоях довольно мощной толщи среднеюрских пород, содержащих многочисленные растительные остатки, отпечатки листьев цикадофитов нигде найдены не были.

Учитывая небольшой диаметр керна скважин и малую вероятность попадания в керн редко встречающихся форм, можно предположить, что находки в ряде скважин остатков цикадофитов из самой верхней части разреза среднеюрских пород свидетельствуют о более широком развитии этих растений в отрезок времени, непосредственно предшествовавший трансгрессии моря. По-видимому, морской бассейн, внедряясь внутрь юрского континента на территории Сибири, оказывал смягчающее влияние на климат

прибрежных областей, что и способствовало расселению здесь цикадофитов. Особенно четко это иллюстрируется большим числом отпечатков нильssonий совместно с *Dioonites* sp. в районе Туруханска — самой северной из известных точек распространения юрских цикадофитов в Сибири.

Повышенное содержание остатков цикадофитов в юрских отложениях отмечалось В. Д. Принадой⁽⁵⁾ в Забайкалье. Отсюда им были определены 2 формы *Nilssonia*, 2 вида *Ptilophyllum*, *Zamites*, *Pterophyllum*, *Anomozamites*. И здесь отпечатки листьев этих растений приурочены либо к морским («морская юра»), либо к прибрежно

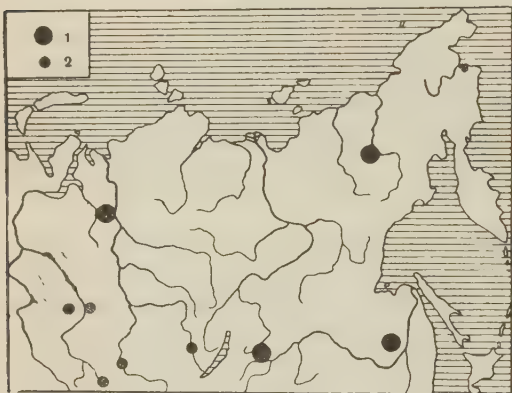


Рис. 1. Схематическая карта распространения цикадофитов в юре Сибири. 1 — повышенное содержание отпечатков цикадофитов, 2 — единичные отпечатки цикадофитов

морским («алгачинская юра») или лагунным («эффузивно-туфогенная свита») отложениям. В. Д. Принада объяснял такое развитие цикадофитов в юре Забайкалья влиянием морского бассейна на местный климат.

В свете изложенных материалов не представляется возможным рассматривать распространение цикадофитов в юре изучаемой территории как исключительно подчиненного элемента, количество которого уменьшалось с юга на север, в связи с увеличивающейся суровостью климата.

В центральных частях суши, удаленных от береговой линии, где смягчающее влияние моря на климат сказывалось очень слабо, цикадофиты встречались единично. На это указывают редкие находки их остатков среди юрских флор Чулымо-Енисейского, Кузнецкого и Иркутского бассейнов. В районах же, прилегающих к морскому берегу, где климат становился мягче и сезонные колебания температуры были не столь резки, цикадофиты находили более благоприятные условия для своего развития. Здесь они произрастали в гораздо большем количестве, чем в центре континента.

Такие области развития цикадофитов в юре Сибири имели место вдоль южного берега среднеюрского бассейна на севере Западно-Сибирской низменности, на побережье юрского моря в Забайкалье. Далее на восток количество цикадофитов увеличивалось по мере приближения к дальневосточным юрским бассейнам (флоры Буреи, Колымы и местонахождений Дальнего Востока).

В северных районах Сибири цикадофиты продолжали существовать в неменьшем количестве на побережье моря и в нижнемеловое время, о чем свидетельствуют нижнемеловые флоры низовий Лены⁽¹⁾.

Видовой состав цикадофитов Сибири сильно отличается от такого как у среднеазиатских, так и дальневосточных представителей этой группы растений. Флора цикадофитов Сибири носит эндемичный характер, вызванный особыми, присущими только данной области условиями произрастания, отличающимися более умеренными климатическими условиями и, возможно, большей влажностью мест обитания.

Остатки сибирских цикадофитов несут на себе все признаки мезофильных растений, что хорошо согласуется с подобными палеоклиматическими построениями.

Сведения о закономерностях распространения цикадофитов в юрских отложениях Сибири должны учитываться при корреляции отдельных разрезов, производимой по палеоботаническим данным.

Сибирский научно-исследовательский
институт геологии, геофизики и минерального сырья
г. Новосибирск

Поступило
22 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Д. Василевская, ДАН, 108, № 5 (1956). ² В. А. Вахрамеев, Тр. 1 сессии Всесоюз. палеонтологич. общ., 1957. ³ Т. А. Девиз, Тр. Межведомствен. совещ. по разработке унифицированных стратиграфических схем Сибири, 1957.
⁴ В. Д. Пригада, Матер. по геол. и полезным ископаемым Вост. Сиб., в. 19, 1944.
⁵ В. Д. Пригада, Матер. по геол. и полезным ископаемым Вост. Сиб., в. 22, 1950.

В. А. АКСЕНОВА

ОБ ОКИСЛИТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ ГРИБА PHYTOPHTHORA INFESTANS

(Представлено академиком А. И. Опариным 2 IV 1959)

В связи с изучением роли окислительных процессов в защитных реакциях тканей картофельного клубня против *Phytophthora infestans* ⁽⁴⁾ нами была предпринята работа по характеристике окислительно-восстановительной системы этого гриба.

Изучение ферментного аппарата фитопатогенных грибов началось уже свыше 75 лет назад ⁽²⁾. Однако в подавляющем числе случаев исследования и наблюдения касаются микроорганизмов, принадлежащих к сапрофитам или полупаразитам, которые легко поддаются культуре на искусственных средах.

Сапрофитные грибы имеют большой набор ферментов ⁽³⁻⁶⁾.

Гораздо меньше данных по характеристике ферментного аппарата облигатных паразитов, которые не растут или с трудом поддаются культуре на искусственной среде. Незученным остается ферментный аппарат *Phytophthora infestans*, хотя гриб этот и удается выращивать в искусственных условиях. Для получения

мицелия мы выращивали гриб *Phytophthora infestans* в пробирках на овсяном агаризованном отваре по методу Дороховой ⁽⁷⁾.

Были проведены опыты по выяснению влияния различных специфических ингибиторов на дыхание мицелия фитогоры. Опыты проводились в аппарате Варбурга.

Как видно из данных табл. 1, цианистый калий и азид натрия более чем наполовину подавляют поглощение кислорода мицелием гриба. Следовательно, *Phytophthora infestans* содержит подавляемую и неподавляемую ядами ферментные системы.

Диэтилдитиокарбамат натрия подавляет дыхание мицелия *Phytophthora* на 40 %, на основании чего можно заключить, что очень существенная часть дыхания мицелия катализируется оксидазами Си-протеидной природы.

Далее было проведено изучение способности мицелия фитогоры окислять различные субстраты (табл. 2).

Полученные результаты показывают, что подавляющее большинство испытанных субстратов не окислялось как растертым, так и интактным мицелием *Phytophthora infestans*. Существенное увеличение поглощения кислорода наблюдалось лишь при использовании в качестве субстрата аскорбиновой кислоты, а из аминокислот — метионина.

Т а б л и ц а 1

Действие ингибиторов на дыхание мицелия *Phytophthora infestans* (в μ л O_2 на 1 г сырого веса в час)

Ингибитор	Буфер	Буфер + + ингиби- тор	Подав- ление, %
Азид натрия	363	131	64
Цианистый ка- лий	359	61	83
На-диэтилди- тиокарбамат	477	284	40

Т а б л и ц а 2

Окислительная активность мицелия *Phytophthora infestans*
($\mu\text{л O}_2$ на 1 г сырого веса в час)

Субстрат	Растертый мицелий		Нерастертый мицелий	
	опыт	кон-троль	опыт	кон-троль
Танин	—	—	525	520
Хлорогеновая кисл. + гидрохинон	155	391	420	500
Пирокатехин	200	320	434	460
Тирозин	60	160	180	260
Аскорбиновая кислота	180	228	481	444
Цитохром С + гидрохинон	320	380	374	382
Аспарагиновая кислота	190	220	400	408
Глютаминовая кислота	160	300	325	405
Аланин	190	250	490	501
Гликокол	192	288	400	395
Фенилаланин	—	—	552	564
Лизин	—	—	394	432
Метионин	—	—	725	642
Лейцин	—	—	392	440
Норлейцин	—	—	408	440
Пролин	—	—	434	468
Триптофан	—	—	295	406
Глюкоза	—	—	290	420
Ксантин	—	—	410	450
Глицериновый альдегид	—	—	378	445
Линолевая кислота	—	—	440	540
Гликолевая кислота	—	—	390	440

Способность мицелия окислять метионин свидетельствует о наличии у *Phytophthora* оксидаз аминокислот, являющихся флавопротеидами. Подтверждением этому служит и довольно высокое содержание рибофлавина в мицелии *Phytophthora* (6,5 γ на 1 г сырого веса мицелия) *.

Опыты по окислению различных субстратов были полностью повторены с ацетоновыми препаратами мицелия *Phytophthora*, причем были получены результаты, полностью совпадающие с только что цитированными.

Т а б л и ц а 3

Окислительная активность ацетонового препарата мицелия *Phytophthora infestans*
(в $\mu\text{л O}_2$ на 1 мг белка в час)

Субстрат	Опыт	Кон-троль
Гидрохинон	8	8,5
Цитохром С + гидрохинон	26	26
Аскорбиновая кислота	17	15
Гликокол	11	26

Т а б л и ц а 4

Активность цитохромоксидазы в мицелии *Phytophthora infestans*, выращенном на картофельной среде
(в $\mu\text{л O}_2$ на 1 г сырого веса в час)

№ оп.	Опыт	Контроль	Разница
1	217	75	141
2	432	312	120
3	500	290	210

Имеется большое число литературных данных, показывающих, что на состав вырабатываемых грибом ферментов и их активность сильно влияет состав культуральной среды, на которой выращивается гриб (⁸, ⁹).

Учитывая эти данные, мы провели опыты с мицелием *Phytophthora infestans*, выращенном на агаризованном картофельном настое — среде, которая гораздо ближе к естественному субстрату фитофторы.

В мицелии была определена активность цитохромоксидазы. В табл. 4 представлены полученные в этих опытах данные.

* Определения рибофлавина были проведены по нашей просьбе З. Зайцевой.

Как видно из приведенных данных, *Phytophthora*, выращенная на картофельной вытяжке, содержит активную цитохромоксидазу, в то время как у гриба, выращенного на овсяном агаре, цитохромоксидазная активность не обнаруживалась.

В данном случае, очевидно, имеет место явление ферментативной адаптации, или, как теперь его называют, явление индуцированного образования ферментов. Под этим термином понимают образование специфических ферментов, не вырабатывавшихся раньше данным организмом, происходящее под влиянием субстрата (см., напр., ⁽¹⁰⁾).

Таблица 5
Дегидразы в мицелии *Phytophthora infestans* (относительные единицы на 0,2 г сырого веса мицелия)

Субстрат	Активность дегидраз
Янтарная кислота	1,7
Лимонная кислота	1,1
Глицерофосфат Na	1,7
Этиловый спирт	1,2

сини 1 : 20000 в трубке Тунберга в среднем за 3,6 мин.). Из отдельных дегидраз было доказано наличие в мицелии фитофторы дегидразы янтарной и лимонной кислот, этилового спирта и глицерофосфата (табл. 5).

Присутствие в мицелии фитофторы дегидраз янтарной и лимонной кислот позволяет предполагать, что определенное место в дыхании гриба *Phytophthora* должно принадлежать дихотомическому пути распада дыхательного субстрата. Об этом свидетельствуют также опыты, в которых мы изучали влияние органических кислот — промежуточных продуктов цикла Кребса — на поглощение кислорода мицелием *Phytophthora*.

Таблица 6
Влияние органических кислот на дыхание мицелия *Phytophthora infestans* (в μ л O_2 на 1 г сырого веса в час)

Кислота	С кислотой	Без кислот	Активация, %
Янтарная	533	363	+46
Лимонная	486	409	+19
Фумаровая	485	410	+18
Яблочная	329	360	— 9
α -кетоглутаровая	406	472	—14

Как видно из табл. 6, лимонная, янтарная и фумаровая кислоты увеличивают поглощение кислорода мицелием *Phytophthora*.

Таким образом, данные, полученные при изучении дегидразной системы гриба *Phytophthora infestans*, позволяют предположить, что в процессе дыхания мицелия фитофторы одним из путей превращения дыхательного субстрата является гликолиз с последующим превращением его продуктов по циклу Кребса.

Этими данными еще раз подчеркивается необходимость изучения оксидаз, с участием которых осуществляется конечный этап дыхательного процесса — передача водорода на кислород. Работы в этой области нами продолжаются.

Считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность проф. Б. А. Рубину за ценные указания по настоящей работе.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
1 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

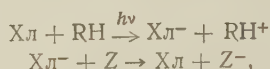
- ¹ Б. А. Рубин, В. А. Аксенова, Биохимия, 22, в. 1—2 (1957). ² A. de Baý, Beiträge z. Morphologie u. Physiology der Pilze, 4, 85 (1885). ³ Е. З. Окнина, Тр. Инст. физиол. раст. АН СССР, 2, 1 (1937). ⁴ Е. П. Четверикова, Окислительные процессы в явлениях устойчивости, Автореф. канд. диссертации, 1952. ⁵ W. E. Ashour, Trans. Brit. Mycol. Soc., 12, 37, 4, 343 (1954). ⁶ J. Uritani, K. Mucamatsu, J. Agric. Chem. Soc. Japan, 27, 1, 24 (1953). ⁷ Н. А. Дорохова, Тр. Инст. физиол. раст. АН СССР, 1, в. 2 (1937). ⁸ В. Я. Частухин, Исследования по физиологии грибов, Материалы по микологии и фитопатологии, 8, в. 2, 1931 (1929). ⁹ J. F. Micheline, G. Legrand, C. R., 239, № 21, 1404 (1954). ¹⁰ З. Шпигельман, Современные проблемы биохимии, Сборн. статей, ИЛ, 1957.

В. Б. ЕВСТИГНЕЕВ и В. А. ГАВРИЛОВА

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ФОТОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ХЛОРОФИЛЛОМ В РАСТВОРАХ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 16 III 1959)

Результаты наших предыдущих работ (^{1,2}) позволяют считать весьма вероятным, что сенсibilизация хлорофиллом и его аналогами окислительно-восстановительных реакций в растворах протекает по следующему механизму:



где Хл — пигмент-сенсibilизатор, RH — донор электрона (восстановитель), Z — акцептор электрона (окислитель). Хл⁻ — первичная восстановленная форма пигмента, свободный радикал типа ионизированного семихинона (³), образующийся путем присоединения электрона к активированной светом молекуле пигмента.

Одним из признаков появления Хл⁻ в растворе в определенных условиях, в частности в пиридине в присутствии фенилгидразина, является изменение электропроводности раствора при освещении (⁴). Характер изменения проводимости и обратный ход ее при выключении света различен для раз-

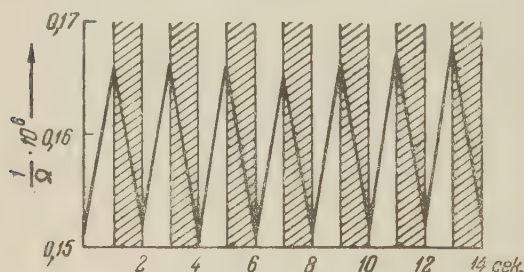


Рис. 1. Изменение электропроводности хлорофилла а (10^{-4} мол/л) в пиридине с фенилгидразином ($0,5 \cdot 10^{-1}$ мол/л) при быстрой смене света и темноты (заштриховано). Температура -45°

личных пигментов и определяется условиями опыта и свойствами первичной фотовосстановленной формы и продуктов изменения других компонентов реакции. В случае феофитина а, например, изменение электропроводности от освещения при низкой температуре (от -40 до -50°) в пиридине с фенилгидразином, сохраняется длительное время после выключения освещения, что объясняется относительно большей стабильностью этой формы для безмагнелевых пигментов (⁵), тогда как в случае хлорофилла а электропроводность возвращается к исходной величине почти мгновенно после выключения света (^{4,5}).

На рис. 1 показана типичная картина, наблюдающаяся для эвакуированного пиридинового раствора хлорофилла а, содержащего фенилгидразин, при быстрой смене освещения и темноты.

Если исходить из вышеприведенного механизма, то можно ожидать, что в присутствии акцептора электрона, способного к быстрому взаимодействию с Хл⁻, равновесное количество Хл⁻ при освещении будет значительно меньшим, что должно сказаться на изменении электропроводности (^{1,5}). В частности, в случае хлорофилла а следует ожидать, что внесение в среду акцеп-

тора сильно ослабит или даже прекратит показанные на рис. 1 быстрые изменения электропроводности, происходящие при включении и выключении света. Обнаружение подобного эффекта внесения акцептора явилось бы новым подтверждением правильности вышеупомянутого механизма сенсibilизации.

В данной работе нами было исследовано влияние на изменение электропроводности раствора хлорофилла а в пиридине с фенилгидразином присутствия некоторых из красителей, фотовосстановление которых хлорофилл способен сенсibilизировать, а именно метилового красного ⁽⁶⁾, сафранина Т ^(6,7) и кислотного синего ⁽⁸⁾. Кроме того, мы испытали действие каротина на изменения электропроводности; это представляло интерес в связи с обнаружением Ливингстоном и Фужимори ⁽⁹⁾ влияния присутствия каротина на скорость исчезновения появляющейся при мощных вспышках света в растворе формы хлорофилла, названной Ливингстоном ⁽¹⁰⁾ метастабильным триплетным возбужденным состоянием этого пигмента. По нашему мнению, однако, есть все основания думать, что наблюдаемые этими авторами изменения спектра пигмента обусловлены присоединением электрона к молекуле пигмента, т. е. образованием Хл⁻ ⁽¹²⁾. В пользу подобного предположения говорят следующие факты. 1. Спектры поглощения метастабильного триплетного состояния хлорофилла, феофитина, порфиринов и фталоцианина магния, приведенные в работах Ливингстона и Фужимори ^(9,11), а также Линшица и Сарканена ⁽¹⁶⁾, по положению ряда максимумов очень напоминают спектры соответствующих первичных восстановленных форм ^(2,5,12,13). 2. В условиях опытов Ливингстона и Фужимори первичные восстановленные формы пигментов являются крайне неустойчивыми. 3. Показанное в работе ⁽⁹⁾ отсутствие взаимодействия «триплетного состояния» хлорофилла с восстановителями совершенно непонятно с точки зрения авторов и полностью объясняется, если принять, что эта форма уже является восстановленным продуктом.

Измерительная установка состояла из вакуумного сосуда с двумя параллельными платиновыми электродами, осветительной лампы накаливания 400 вт с конденсором и стеклянными светофильтрами для задержки инфракрасного излучения и выделения красной части спектра, поглощаемой хлорофиллом, и прибора для измерения электропроводности (мегомметр МОМ-3). Явления поляризации электродов проявлялись только в очень слабой степени и не имели значения при наблюдении эффекта освещения.

В табл. 1 приведены результаты одного из опытов с применением метилового красного в качестве акцептора электрона. Электропроводность везде выражается в величинах, обратных измеряемому сопротивлению в омах.

Табл. 1 ясно показывает, что в присутствии акцептора быстрые изменения электропроводности при смене света и темноты совершенно прекращаются и по мере фотовосстановления акцептора постепенно возобновляются. В специальных опытах с различными концентрациями метилового красного

Таблица 1

Изменение электропроводности раствора хлорофилла а в пиридине с фенилгидразином в присутствии или в отсутствие метилового красного $\left(\text{в } \frac{1}{\Omega} \cdot 10^6 \right)$

	В отсутствие метилового красного	В присутствии метилового красного						
		сразу после добавля.	после прерывистого освещения					
			15 сек.	30 сек.	1 мин.	2 мин.	3 мин.	5 мин.
В темноте	0,171	0,182	0,182	0,182	0,196	0,192	0,190	0,192
На свету	0,185	0,182	0,182	0,192	0,200	0,198	0,200	0,204
Разница . . .	0,014	0	0	0	0,004	0,006	0,010	0,012

Примечание. Хлорофилл а $\sim 10^{-4}$ мол/л, фенилгидразин $\sim 0,5 \cdot 10^{-1}$ мол/л, метиловый красный $\sim 10^{-4}$ мол/л.

наблюдалось полное соответствие между количеством внесенного в раствор красителя — акцептора и временем освещения, после которого опять возникали быстрые изменения электропроводности при смене света и темноты.

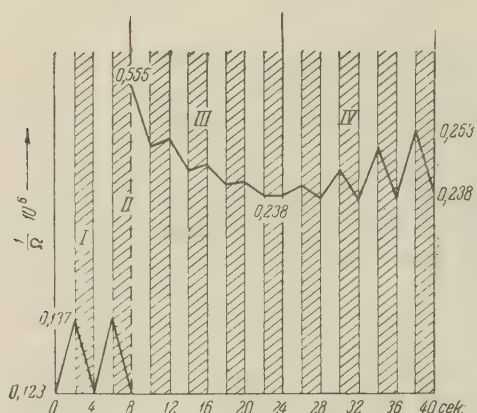


Рис. 2. Изменение электропроводности хлорофилла а в присутствии сафранина Т. I — без сафранина, II — добавка сафранина, III — сенситализированное восстановление сафранина, IV — после полного восстановления сафранина. Заштрихованы периоды темноты

Весьма интересная картина получилась при использовании сафранина Т. Как было нами уже отмечено ранее ⁽⁴⁾, растворы продукта восстановления последнего в пиридине обладают меньшей электропроводностью, чем исходный краситель, поэтому картина изменения электропроводности по ходу опыта прерывистым освещением является весьма своеобразной. На рис. 2 представлены результаты одного из опытов с сафранином. Значительное изменение абсолютной величины электропроводности исследуемого раствора при внесении сафранина и его сенситализированном восстановлении не позволяют выдержать график в одном и том же масштабе, не нарушая его наглядности. Поэтому изображенный график является полуколичественным. Абсолютная величина электропровод-

ности обозначена цифрами в соответствующих местах.

Как следует из графика, внесение сафранина в раствор вызывает резкое увеличение электропроводности, что является следствием ионизации этого красителя в пиридине. В периоды дальнейшего освещения электропроводность быстро падает, но в следующие за освещением периоды темноты электропроводность опять слегка повышается, что связано, по-видимому, с небольшой обратной реакцией продуктов восстановления сафранина. Во избежание путаницы следует подчеркнуть, что эти изменения электропроводности в темноте значительно меньше по величине и обратны по знаку по сравнению с изменениями электропроводности раствора хлорофилла с восстановителем в отсутствие акцептора.

По мере сенситализированного фотовосстановления сафранина эти колебания уменьшаются и через несколько периодов освещения полностью прекращаются. Вслед за этим появляются постепенно увеличивающиеся колебания, характерные для хлорофилла а. И в этом случае, следовательно, данные свидетельствуют об отсутствии характерных для хлорофилла а изменений электропроводности при смене света и темноты в присутствии акцептора. Такое же явление наблюдается и в присутствии кислорода или кислотного синего.

Таким образом, экспериментальные данные с измерением электропроводности раствора хлорофилла а в пиридине, содержащего фенилгидразин, подтверждают участие ионизированной фотовосстановленной формы пигмента в процессе сенситализации, т. е. справедливость вышеприведенной схемы.

Присутствие акцептора в растворе заметно сказывается на ходе изменения электропроводности при освещении и в случае пиридиновых растворов феофитина. Однако общий характер изменения проводимости последнего, малая обратимость или отсутствие ее в темноте при низкой температуре ⁽¹³⁾ не позволяют получить такой же четкой картины, как в случае хлорофилла а, когда быстрые и обратимые колебания электропроводности при включении и выключении света легко улавливаются, независимо от изменения общего фона.

В табл. 2 приведены результаты опыта, показывающие влияние присутствия каротина на изменение электропроводности хлорофилла а ($\sim 10^{-4}$ мл/л) в пиридине с фенилгидразином. Цифры показывают, что внесение каротина также уничтожает быстрые колебания электропроводности при смене света и темноты, причем эти колебания не появляются даже после длительного освещения. В случае феофитина влияние каротина явно слабее и проявляется как уменьшение величины изменения электропроводности при освещении заметным образом только при относительно большой концентрации каротина.

Данные в отношении каротина хорошо согласуются с результатами, полученными в нашей лаборатории⁽¹⁴⁾ и показывающими,

что присутствие каротина в пиридиновом растворе хлорофилла, содержащем аскорбиновую кислоту, сильно замедляет образование красной (вторичной) восстановленной формы хлорофилла при освещении и в меньшей степени сказывается на фотовосстановлении феофитина.

Все эти явления хорошо объясняются наличием взаимодействия каротина с первичной восстановленной «электронной» формой пигмента, конкурирующего с образованием вторичной восстановленной формы. Значительно большая реакционная способность первичной восстановленной формы пигментов, содержащих магний, по сравнению с соответствующей формой пигментов, не содержащих металла⁽⁵⁾, объясняет более сильное влияние каротина на хлорофилл, чем на феофитин. Продукт присоединения электрона к каротину является, по-видимому, очень неустойчивым и быстро реагирует обратно, что и приводит к отсутствию видимых изменений самого каротина.

Следует отметить, что попытка обнаружить влияние на электропроводность хлорофилла а добавки к пиридиновому раствору метилметакрилата, сделанная в связи с наличием инициирования полимеризации этого соединения при фотовосстановлении хлорофилла⁽¹⁵⁾, не привела к положительным результатам. Изменения электропроводности хлорофилла а при смене света и темноты одинаковы в отсутствие и в присутствии метилметакрилата.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
14 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Б. Евстигнеев, ЖФХ, **32**, 969 (1958). ² В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, ДАН, **98**, 1017 (1958). ³ В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, ДАН, **114**, 1066 (1957); **115**, 530 (1957); **118**, 1146 (1958). ⁴ В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, ДАН, **103**, 97 (1955). ⁵ В. Б. Евстигнеев, Окислительно-восстановительные свойства хлорофилла в связи с его ролью при фотосинтезе, Докторская диссертация, М., 1956. ⁶ J. C. Ghosh, S. B. Sen-Gupta, J. Indian Chem. Soc., **11**, 65 (1934). ⁷ А. А. Красновский, ДАН, **1**, 91 (1948). ⁸ В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, ДАН, **125**, № 6 (1959). ⁹ E. Fujimori, R. Livingston, Nature, **180**, 1036 (1957). ¹⁰ R. Livingston, J. Am. Chem. Soc., **77**, 2179 (1955). ¹¹ R. Livingston, E. Fujimori, J. Am. Chem. Soc., **80**, 5610 (1958). ¹² В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, ДАН, **118**, 1146 (1958). ¹³ В. Б. Евстигнеев, В. А. Гаврилова, ДАН, **96**, 1201 (1954). ¹⁴ А. А. Красновский, Биофизика, **4**, 5 (1959). ¹⁵ А. А. Красновский, А. В. Умрихина, Биофизика, **3**, 547 (1958). ¹⁶ H. Linschitz, K. Sarkanen, J. Am. Chem. Soc., **80**, 4826 (1958).

Таблица 2

Изменение электропроводности хлорофилла а в присутствии каротина $\left(\frac{1}{\Omega} \cdot 10^6\right)$

	В отсутствие каротина	В присутствии каротина после прерывистого освещения			
		1 мин.	2 мин.	5 мин.	10 мин.
В темноте	0,244	0,227	0,232	0,238	0,244
На свету	0,222	0,227	0,232	0,238	0,244
Разница...	0,022	0	0	0	0

Е. СИДОРОВА

**НАРУШЕНИЕ СИНТЕЗА МОЧЕВИНЫ В ОРГАНИЗМЕ МЫШЕЙ
ПРИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ВИТАМИНА В₆, ВЫЗВАННОЙ
ПОВТОРНЫМ ВВЕДЕНИЕМ ИЗОНИКОТИНОИЛГИДРАЗИДА**

(Представлено академиком А. И. Опариным 13 IV 1959)

В настоящее время установлено (¹⁻⁴), что при синтезе мочевины в печени млекопитающих один атом азота мочевины образуется за счет аммиака, а другой имеет непосредственным источником аминокруппу *L*-аспарагиновой кислоты. Последняя образуется в организме путем переаминирования щавелевоуксусной кислоты с глутаминовой. В глутаминовую же кислоту под действием специфических аминофераз легко переходит аминный азот остальных природных аминокислот. Реакции переаминирования являются промежуточным звеном и в процессе образования аммиака в тканях млекопитающих в результате трансдезаминирования *L*-аминокислот (⁴). Из сказанного следует, что подавление действия тканевых аминофераз должно приводить к снижению образования мочевины. В опытах с гомогенатами печени удается резко снизить образование мочевины из цитруллина и ряда аминокислот, блокируя действие аминофераз карбонильными реагентами, связывающими пиридоксальфосфат (³). Последний синтезируется в организме из витамина В₆; поэтому можно было предполагать, что снижение активности аминофераз, наблюдаемое при В₆-авитаминозе, сопровождается пониженным образованием мочевины *in vivo* и в переживающей ткани печени. Указание на пониженное выделение мочевины с мочой у В₆-авитаминозных крыс имеется в работах Березова (⁵), но это понижение оказалось нерегулярным (⁴). Исследуя содержание мочевины в крови В₆-авитаминозных крыс Мак-Генри и его сотрудники наблюдали повышенные величины по сравнению с нормой (^{6,10}). Приводимые этими авторами сравнительные данные о содержании витамина В₆ в печени нормальных и авитаминозных крыс (⁹) свидетельствуют о незначительной глубине недостаточности витамина В₆ в их опытах. Торможение реакций переаминирования в печени как в опытах школы Мак-Генри, так и в исследованиях нашей лаборатории и других авторов, всегда было весьма неполным даже при далеко зашедшем алиментарном В₆-авитаминозе. Поэтому вопрос о роли реакции переаминирования и других превращений, протекающих при участии пиридоксальных ферментов, в синтезе мочевины *in vivo* нуждается в дальнейшем исследовании. Как известно, изоникотиноилгидразид (ИНГ) значительно тормозит действие аминофераз как *in vitro* (^{11,12}), так и *in vivo* (¹³). В данной работе, как и в исследованиях, ранее проведенных в этой лаборатории (¹³), для получения глубокой острой недостаточности витамина В₆ было использовано повторное введение животным субтоксических доз ИНГ. Поскольку ИНГ быстро выводится с мочой (¹), мы, с целью поддержания постоянной концентрации его в организме на последнем этапе опыта, прибегали к удалению почек. Следует отметить, что по данным Селлерс и др. (¹⁵), срезы печени животных, подвергнутых нефрэктомии, проявляют повышенную способность к синтезу мочевины.

Экспериментальная часть

Опыты проводились на белых мышах (самцы весом от 17 до 21 г), разбитых на однородные по весу контрольные и подопытные группы. Мыши получали в течение 7—8 дней синтетический рацион, включающий 20 % отмытого от витаминов казеина и смесь витаминов (20 $\mu\text{г}$ тиамина, 60 $\mu\text{г}$ никотинамида, 20 $\mu\text{г}$ рибофлавина, 75 $\mu\text{г}$ Са-пантотената, 50 $\mu\text{г}$ *n*-аминобензойной кислоты и 5 мг холина в день на каждую мышь); контрольные мыши получали дополнительно по 50 $\mu\text{г}$ пиридоксина в день. Мышам подопытной группы каждый день вводили внутрибрюшинно по 1,5 мг ИНГ в 0,15 мл водного раствора, а контрольным — по 0,15 мл воды.

На 7—9 день утром, после 8—10-часового голодания и непосредственно перед последней инъекцией ИНГ (или воды), у животных обеих групп удаляли почки (через горизонтальный разрез на спине, без наркоза). Животных забивали декапитацией через 0, 6, 11 или 16 часов после операции, быстро отрезали хвост, уши, кончики лапок и снимали кожу, после чего голову и тушку взвешивали и гомогенизировали в измельчителе типа Уеринг в десятикратном объеме охлажденного $M/15$ фосфатного буфера (рН 7,4) с последующим осаждением белков равным объемом 10 % CCl_3COOH . В безбелковых экстрактах определяли мочевину (уреазный метод), общий аминный азот (16), сумму азота аммиака и амидной группы

глутамина (в приборах Конвея, после 30 мин. гидролиза на кипящей водяной бане в 5 % CCl_3COOH) и общий небелковый азот (после сжигания по Кьельдалю и отгонки NH_3 по Конвею). Результаты этих определений, выраженные в микрограммах N на 1 г сырого веса тушки, представлены в табл. 1, где приведены средние величины, и графически на рисунках 1, 2.

В параллельной серии опытов производились определения активности глутамино-аланиновой и глутамино-аспарагиновой аминофераз в гомогенатах из всей тушки мышей контрольной и подопытной групп, убитых тотчас после нефрэктомии или через 6 час. после операции. Величины переаминирования измерялись по методу Кабо с сотр. (17), видоизмененному Т. С. Пасхиной. В этих опытах было найдено, что в тканях животных, получавших ИНГ, активность глутамино-аланиновой аминоферазы как в начале опыта, так и через 6 час. подавлена практически полностью, а активность глутамино-аспарагиновой аминоферазы заторможена не более чем на 40—50 %.

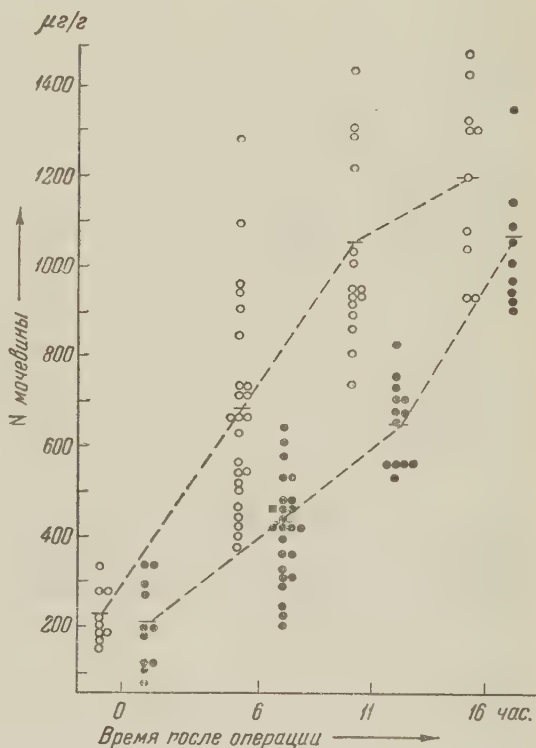


Рис. 1. Содержание N мочевины в $\mu\text{г}$ на г веса тушки. Светлые точки — контрольные мыши; черные точки — мыши, получавшие изоникотиноилгидразид

Обсуждение результатов

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что после удаления почек, т. е. с прекращением выведения из организма продуктов азотистого катаболизма, в теле контрольных мышей прогрессивно увеличивается содержание общего небелкового N; прирост его за 11 час. составляет 1037 $\mu\text{г/г}$. Это увеличение происходит преимущественно за счет накопления в тканях мочевины (+835,6 $\mu\text{г/г}$), при незначительном приросте азота аминокислот (+13,6 $\mu\text{г/г}$) и суммы аммиачного и амидного азота (+58,1 $\mu\text{г/г}$)

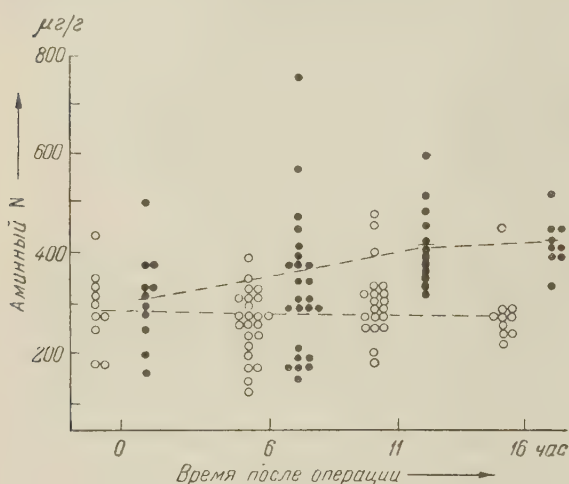


Рис. 2. Содержание аминного N в $\mu\text{г}$ на г веса тушки.
Условные обозначения те же, что на рис. 1

Через 6 часов после операции абсолютные величины прироста азотистых фракций у обеих групп животных меньше, но различия между контрольными и получавшими ИНГ мышами выражены более резко. В частности прирост азота мочевины составляет у первой группы 457,4 $\mu\text{г/г}$, а у второй всего 218,2 $\mu\text{г/г}$ (торможение на 53 %).

Таблица 1

Содержание фракций небелкового азота в тушках нефрэктомизированных мышей, контрольных и получавших ИНГ (средние величины)

Время после операции в часах	Число последованных мышей		Содержание азота в (мг) на 1 г сырого веса тушки							
			N мочевины		амидн. N глутамина + N аммиака		аминный N		общий небелковый N	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
0	9	11	228,4	207,0	86,0	86,4	294,4	313,0	2059,0	2300,0
6	24	25	685,8	425,2	91,6	99,7	269,0	329,5	2693,0	2605,0
11	16	13	1064,0	659,4	144,1	163,8	308,0	420,2	3096,0	3012,4
16	10	9	1207,4	1083,7	128,1	142,5	289,1	424,3	3166,0	3528,0

В период с 11 до 16 час. общий небелковый N и N мочевины нарастают у подопытных мышей в большей мере, чем у контрольных, вследствие чего различие между обеими группами в значительной мере сглаживается (см. рис. 1). Возможно, что это обусловлено постепенным разрушением ИНГ в организме животных.

Приведенные выше экспериментальные данные показывают, что синтез мочевины в организме мыши *in vivo* резко подавляется (на 53—64 %) при острой недостаточности витамина B₆, вызванной введением ИНГ, в соот-

ветствии с результатами, полученными при торможении реакций переаминирования в опытах с гомогенатом печени *in vitro* ⁽³⁾. Отсутствие полного нарушения синтеза мочевины *in vivo* в наших опытах легко объяснимо, если учесть, что у подопытных животных использование аспарагиновой кислоты во второй фазе цикла мочевинообразования не должно нарушаться, а образование аспарагиновой кислоты путем переаминирования из глутаминовой и ее прямых предшественников (пролина, гистидина) нарушено лишь частично. Сказанное подтверждается данными предварительных опытов Р. М. Азарх и И. С. Севериной с гомогенатами печени крыс, которым повторно вводился ИНГ; в таких гомогенатах образование мочевины во второй фазе орнитинового цикла ⁽³⁾ из *L*-аланина было подавлено полностью, из *L*-глутаминовой кислоты — заторможено на 40—60%, а из *L*-аспарагиновой кислоты — практически не нарушалось.

В опытах школы Боллмана (см. у А. Е. Браунштейна ⁽¹⁸⁾) прекращение мочевинообразования в организме собак после удаления печени сопровождалось значительным накоплением в тканях глутамина (при относительно малом приросте других аминокислот). У мышей, получавших ИНГ, мы, напротив, наблюдали существенный прирост аминного N свободных аминокислот при очень незначительном повышении прироста суммарного N аммиака и амидной группы глутамина. Это различие представляет большой интерес; мы рассматриваем его как косвенное указание на участие реакций переаминирования в процессах распада (дезаминирования) аминокислот не только в печени, но и в других органах животных.

Приношу глубокую благодарность действительному члену АМН СССР проф. А. Е. Браунштейну за руководство работой.

Институт биологической и медицинской химии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
7 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ S. Ratner, *Advances Enzymol. and Related Subjects Biochem.*, **15**, 319 (1954).
² Т. Т. Березов, *Усп. совр. биол.*, **39**, 257 (1955). ³ И. В. Ключе, *ДАН*, **109**, 997 (1956); *Биохимия*, **21**, 516 (1956). ⁴ А. Е. Браунштейн, *Главные пути ассимиляции и диссимиляции азота у животных*, М., 1957; *Advances Enzymol. and Related Subjects Biochem.*, **19**, 335 (1957). ⁵ Т. Т. Березов, *ДАН*, **86**, 605 (1952); **90**, 623 (1953). ⁶ W. Hawkins, M. L. MacFarland, E. W. McHenry, *J. Biol. Chem.*, **166**, 223 (1946). ⁷ J. R. Beaton, J. L. Beare et al., *J. Biol. Chem.*, **200**, 715 (1953). ⁸ J. R. Beaton, F. J. Smith, E. W. McHenry, *J. Biol. Chem.*, **201**, 587 (1953). ⁹ J. R. Beaton, R. M. Ballantyne et al., *J. Biol. Chem.*, **186**, 93 (1950). ¹⁰ E. F. Caldwell, E. W. McHenry, *Arch. Biochem. and Biophys.*, **44**, 396; **45**, 97 (1953). ¹¹ R. M. Hicks, J. Symmerman-Craig, *Biochem. J.*, **67**, 353 (1957). ¹² J. Youatt, *Biochem. J.*, **68**, 193 (1958). ¹³ А. Е. Браунштейн, Р. М. Азарх, *Биохимия*, **22**, 430 (1957). ¹⁴ L. J. Roth, R. W. Marmoreth, *Proc. Soc. Exp. Biol. and Med.*, **81**, 566 (1952). ¹⁵ A. L. Sellers, J. Katz, J. Marmorston, *Am. J. Physiol.*, **191**, 345 (1957). ¹⁶ E. W. Yemm, E. C. Cocking, *Analyst*, **80**, 209 (1955). ¹⁷ P. Cabaut et al., *Am. J. Clin. Pathol.*, **26**, 1101 (1956); **27**, 235 (1957). ¹⁸ А. Е. Браунштейн, *Вестн. Акад. мед. наук СССР*, № 2 (1959).

В. В. ЮРКЕВИЧ

ОБ ОТНОШЕНИИ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОК К β -АМИЛАЗЕ

(Представлено академиком А. И. Опариным 3 IV 1959)

В последнее время в связи с успехами в изучении вирусов, белков и нуклеиновых кислот начинает складываться представление о большем, чем это до сих пор считали, многообразии взаимоотношений клеток с высокомолекулярными соединениями среды.

Хорошо установлено, что живым клеткам может быть свойственно поглощение ферментных белков (¹⁻⁷). Однако вопрос о биологическом значении этого явления почти не получал освещения. В работе А. И. Опарина и В. В. Юркевича (³) показано, что клетки дрожжей, у которых отсутствуют инвертаза и β -глюкозидаза, сорбируя эти ферменты из среды и удерживая их, оказываются способными сбраживать неиспользуемую ранее ими сахарозу или гидролизовать амигдалин. В настоящей работе рассматривается отношение дрожжей к β -амилазе и биологическое значение сорбции ферментов клетки *.

Таблица 1

Сорбция β -амилазы клетками *S. ellipsoideus*
(активность фермента, мл 0,1 N (KMnO₄)
на 50 мг дрожжей)

№№ опы- тов	Актив- ность, исходн. раствор	Актив- ность, раствор после пребыв. дрожжей	Актив- ность, исчез- нувш. из раств.	Актив- ность в суспен- зии кле- ток после сорбции
1	15,1	1,3	13,8	5,8
2	14,0	0,6	13,4	9,1

Препарат β -амилазы получался нами из ячменного солода с очисткой от α -амилазы (⁸). Дрожжи выращивались на среде Ридер с дрожжевым экстрактом и перед опытом трехкратно промывались водой в центрифуге. Во всех опытах навески дрожжей брались из 1-суточных культур по 500 мг. Поглощение β -амилазы клетками шло в 20 мл 0,04% водного раствора препарата фермента с 2% глюкозы в течение 1,5 час. при 27°. Активность β -амилазы определялась при pH 4,7 по скорости осахаривания крахмала (мальтазной активностью препарат фермента не обладал). Редуцирующая способность учитывалась методом Бертрана. Для автолиза к навеске дрожжей добавлялся 1 мл ацетатного буфера с pH 5,9, 3 мл H₂O и толуол. Перед определением активности фермента в автолизате эта смесь разбавлялась водой до 20 мл.

В условиях наших опытов клетки разных рас дрожжей (*Saccharomyces ellipsoideus*, *S. globosus*, *S. cerevisiae* раса XII) проявили резко выраженную способность сорбировать β -амилазу. Об этом можно было судить как по убыли активности фермента в растворе, так и по обнаружению амилазной активности суспензии клеток после центрифугирования и промывания. В табл. 1 представлены результаты двух типичных опытов.

Амилазной активностью без сорбции фермента ни интактные клетки, ни клетки, подвергнутые 3-суточному автолизу, не обладали. (Отсутствие амилазы у дрожжей хорошо известно.)

* В ряде экспериментов принимала участие Р. Н. Пташник.

Как и в проведенных ранее опытах с инвертазой (³), способность клеток сорбировать β -амилазу сильно возрастает (в 4—7 раз) в условиях брожения на глюкозе по сравнению с сорбцией из раствора без глюкозы, т. е. процесс поглощения фермента связан с жизнедеятельностью клеток. Однако, в отличие от поглощенной дрожжевыми клетками инвертазы (⁴), сорбированная в условиях брожения β -амилаза не отмывается водой даже при многократном промывании.

Активность β -амилазы, открываемая в клетках, была всегда меньше, чем активность, исчезнувшая из раствора (с учетом некоторого активирующего влияния глюкозы на фермент), что видно из табл. 1. Следовательно, наряду с поглощением клетками β -амилазы происходит ее частичная инактивация. Опыты показали, что активность фермента, обнаруживаемая в клетках сразу после их пребывания в растворе фермента и промывания и после 3-суточного автолиза, одинакова. Это говорит о поверхностном расположении в клетке активной β -амилазы.

Если клетки, имея сорбированную, расположенную на поверхности и сохраняющую активность β -амилазу, гидролизуют крахмал, то такие клетки, имея еще мальтазу, должны обладать способностью сбраживать крахмал. Имевшийся у нас штамм *S. cerevisiae* расы XII обладал очень слабой способностью бродить на мальтозе. После 3—4 пассажей на агаризованной среде Ридер с мальтозой эта способность значительно возросла. Такие дрожжи выращивались затем на жидкой среде того же состава. Клетки после отделения от среды и промывания сорбировали β -амилазу



Рис. 1. Брожение на крахмале клеток *S. ellipsoideus*, сорбировавших β -амилазу. Слева контроль, справа опыт

в условиях брожения на глюкозе и после 6-кратного промывания в центрифуге помещались в трубки Эйнгорна с 1% раствором крахмала. В контрольные трубки помещались те же дрожжи, адаптированные к мальтозе, но сорбировавшие препарат фермента, инактивированный нагреванием. Трубки помещались в термостат с температурой 40°. В опытных трубках через 10 мин. начиналось накопление газа. Через 1½ часа было 2,5 мл газа, причем брожение заметно продолжалось. За это время в контрольных трубках никаких признаков брожения не наблюдалось (рис. 1).

Для того чтобы убедиться в том, что использование клетками крахмала шло за счет удерживаемого ими фермента, а не за счет плохо отмывого фермента, оставшегося в растворе после сорбции, мы проводили следующие контрольные опыты. 1 мл 6-й промывной воды выдерживали 2 часа при 40° с 10 мл 1% крахмала; проба с жидкостью Фелинга после этого была отрицательной. В некоторые трубки с контрольными дрожжами добавляли по 0,5 мл той же, 6-й, промывной воды, однако это также не вызывало брожения. Микроскопирование дрожжей после опыта показало отсутствие пастообразной микрофлоры. Опыт был двукратно повторен с тем же результатом.

Таким образом, дрожжевые клетки, имеющие мальтазу, сорбируя β -амилазу среды и прочно удерживая ее, делаются способными, при сохранении известное время у поглощенного фермента активности, использовать крахмал. Известные нам формы дрожжевых организмов не обладают способностью сбраживать крахмал (⁹). Однако явления, подобные описанному нами, должны иметь биологическое значение как путь расширения биохимических возможностей клеток.

Далее нашими опытами показано, что инактивация дрожжевыми клетками β -амилазы носит биологический характер, так как процесс этот связан с обменными процессами клеток. Если клетки *S. ellipsoideus*, сорбировавшие фермент, выдержать в условиях брожения в течение 2 час., перенести их в 2% раствор глюкозы, то после этого активность β -амилазы в клетках не обнаруживается ни сразу, ни после автолизисов разной длительности, тогда как непосредственно после пребывания в растворе фермента эти клетки сохраняли еще часть активности. При этом фермент не вымывается также и в раствор глюкозы. Если же клетки, сорбировавшие фермент, выдержать не в условиях брожения, а в воде, то инактивации β -амилазы не происходит. О связи инактивации фермента с жизнедеятельностью клеток говорит и тот факт, что отравление клеток толуолом также прекращает процесс инактивации β -амилазы.

Сохранение активности фермента в течение 3-суточного автолиза клеток свидетельствует о том, что белок сорбированной клетками β -амилазы не разрушается ферментами автолизата. То же подтвердилось и опытами по влиянию автолизата дрожжей на раствор β -амилазы (рН 5,9). Аналогично этому мы никогда не наблюдали инактивацию ферментами дрожжевых автолизатов инвертазы. Эти явления кажутся нам вполне закономерными, ибо в микробной популяции отсутствие способности у ферментов, освобождающихся из отмирающих клеток, инактивировать неразрушающие клетки данного вида гидролазы среды — биологически полезно.

Специальными опытами нами было установлено, что инактивация адсорбированной β -амилазы происходит не за счет влияния продуктов, накапливающихся в среде при брожении. Следовательно, фермент инактивируется в результате процессов, происходящих при его взаимодействии с самой клеткой. Факт инактивации сорбированной β -амилазы лишь в процессе жизнедеятельности клеток и растянутость этого процесса во времени говорят о включении белка β -амилазы в обменные процессы этих клеток. Инактивация при этом чужеродного белка, вполне понятная с физиологической стороны, должна относиться, вероятнее всего, к использованию белка как питательного материала. Наблюдавшееся в наших опытах предшествование адсорбции дальнейшему усвоению является, безусловно, общефизиологической закономерностью. Можно указать на исходный характер усвоения дрожжевыми клетками витаминов (¹⁰).

В противоположность описанным данным, ранее нами было установлено, что брожение после сорбции препарата дрожжевой инвертазы клетками *S. globosus*, для которых белок этого фермента не является совершенно чужеродным (^{11,12}), в условиях ряда наших опытов не только не было фактором, инактивирующим фермент, — напротив, количество инвертазы в клетках при этом увеличивалось (^{13,14}).

Выясняя возможность использования дрожжевыми клетками в качестве источника питания сорбированных из среды белков, мы решили испытать отношение к инвертазе голодавших и не голодавших клеток *S. globosus*. Две одинаковые навески дрожжей суточной культуры, одна из которых предварительно выдерживалась в стерильной воде в течение суток при 27°, сорбировали инвертазу; после однократного отмывания клетки автолизировались и в них определялось содержание фермента. Опыты проводились по описанной ранее методике (¹³); посторонней инфекции не было. Данные опытов показали, что голодавшие дрожжи, имея более медленное брожение, сорбировали, однако, всегда больше инвертазы (в 2—4 раза), тогда как сорбированный фермент выявлялся в голодавших клетках лишь в незначительной части, и активность его была в разных опытах в 2—10 раз меньше, чем активность в неголодавших клетках. Инактивация поглощенной инвертазы под влиянием голодания говорит о возможности использования сорбируемых дрожжевыми клетками белков как питательного материала. Однако инактивация чужеродного белка β -амилазы выражена более резко у клеток и без предварительного голодания.

Нам неизвестны исследования, демонстрирующие использование дрожжевыми клетками нативных белков среды как источников питания. Однако данные настоящей работы говорят о возможности такого использования.

В связи с описанным представляет интерес выяснить отношение дрожжей к амилазе муки. Проведенные нами опыты показали, что 2-часовое выдерживание продажных пекарских дрожжей (5%) в 10% мучной болтушке из пшеничной муки лишь в незначительной степени снижает там активность амилазы. Это снижение можно объяснить не только сорбцией фермента. Добавление к опытной смеси 2% глюкозы вызывает сразу резкое (в 5 раз) повышение активности амилазы. Эта высокая активность сильно снижается при выдерживании с дрожжами, однако сильное снижение происходит и тогда, когда мы к мучной болтушке без дрожжей вместо 2% добавляли 1% глюкозы. Таким образом, снижение амилалитической активности в мучной болтушке под влиянием дрожжей можно объяснить также сбраживанием сахаров. По-видимому, этот последний фактор имеет здесь главное значение, так как в опытах по адсорбции ферментов дрожжевыми клетками мы всегда наблюдали, что присутствие солей, аминокислот и ряда других веществ в среде всегда снижает адсорбцию фермента. Вопрос об отношении дрожжей к ферментам муки мы намерены специально исследовать.

Описанные нами закономерности отношений клеток к белкам среды, как это видно из сравнения данных настоящей работы, проявляются не одинаково в различных условиях.

Уральский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
3 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Л. Курсанов, Е. С. Исаева, Биохимия, 9, 5 (1944). ² А. Л. Курсанов, Биохимия, 11, 4 (1946). ³ А. И. Опарин, В. В. Юркевич, ДАН, 66, № 2 (1949). ⁴ В. В. Юркевич, Диссертация, Инст. биохим. АН СССР, 1950. ⁵ Н. М. Сисакян, А. М. Кобякова, Биохимия, 12, 5 (1947). ⁶ А. Л. Курсанов, Е. С. Исаева, В. Попатенко, Биохимия, 11, 5 (1946). ⁷ А. Л. Курсанов, Н. Н. Крюкова, Д. М. Седенко, Биохимия, 13, 5 (1948). ⁸ А. Н. Белозерский, Н. И. Проскуряков, Практическое руководство по биохимии растений, М., 1951. ⁹ В. И. Кудрявцев, Систематика дрожжей, М., 1954. ¹⁰ М. Н. Мейсель, Функциональная морфология дрожжевых организмов, М.—Л., 1950. ¹¹ А. И. Опарин, Н. С. Гельман, И. Е. Эльпинер, ДАН, 97, № 2 (1954). ¹² А. И. Опарин, Н. С. Гельман, И. Г. Жукова, Биохимия, 20, 5 (1955). ¹³ В. В. Юркевич, Р. В. Швейкина, ДАН, 97, № 2 (1954). ¹⁴ В. В. Юркевич, Л. Т. Городович, ДАН, 118, № 1 (1958).

О. П. ШЕРШУКОВА

ЧИСЛО ХРОМОСОМ У *ULMUS PINNATO-RAMOSA* DIECK. ET KOEHNE

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 15 I 1959)

Представители рода *Ulmus* L. — вяз, ильм, берест — широко распространены в Северном полушарии. К настоящему времени описано около 50 видов этого рода, в том числе 20 видов, произрастающих на территории СССР (1) и имеющих большее или меньшее народнохозяйственное значение. Тем не менее, несмотря на свою многочисленность, род *Ulmus* недостаточно исследован цитологически.

Краузе (3), впервые изучавший число хромосом в роде *Ulmus* L., установил, что гаплоидный их набор у видов *U. montana* With., *U. americana* L. и *U. campestris* L. равен 14. Более поздними наблюдениями (5) было установлено в гетеротипном делении у *U. pumila* L. и *U. fulva* 15 хромосом, а у *U. americana* L. в гомеотипном делении 28—30 хромосом.

Результаты (5) Лилевельд (4) считает предварительными. Со своей стороны, этот автор изучал редукционное деление в материнских клетках пыльцы у *U. hollandica belgica* Rehd., *U. Pitteursii* Kirch., *U. campestris* Hesse (=Hort.?), *U. campestris alata suberosa* Rehd., *U. wilsoniana* Schneid., *U. pumila pinnato-ramosa* Henry, *U. montana suberosa* Spaeth (номенклатура по Rehder) (6) и установил, что все исследованные виды и вариации, в том числе и *U. pumila pinnato-ramosa*, имели гаплоидное число хромосом 14, в связи с чем можно предположить, что у исследованных автором видов соматическое число хромосом ($2n$) равно 28.

В сводной работе (7) указывается, что из 11 исследованных на число хромосом видов ильмовых у 9 видов (*U. carpinifolia* (foliaca, nitens), *U. glabra* (campestris, procera var. montana и var. scabra), *U. fulva*, *U. hollandica*, *U. japonica*, *U. laciniata*, *U. laevisteffusa* (pedunculata), *U. pumila*, *U. racemosa*) $2n = 28$. И только для *U. americana* и *U. turkestanica* соматическое число хромосом равно 56.

До сих пор не ясно, кто понимают зарубежные ботаники под названием *U. turkestanica*: иногда так называют шаровидные формы ильмовых типа *U. densa* Litw. или *U. Androssowii* Litw., иногда это название применяют к туркестанскому карагачу — вязу перисто-ветвистому (*U. pinnato-ramosa* Dieck. et Koehne).

Вяз перисто-ветвистый, или, как упоминалось выше, туркестанский карагач, произрастает в культуре в Казахстане и в Средней Азии. Этот вид очень близок к *U. pumila* L. — вязу приземистому, или ильмовнику, естественно произрастающему в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

Оба названных вида принадлежат к секции *Madocarpus* Domort, ряду *Pumilae* С. К. Schn., подсекции *Foliaceae* С. К. Schn. В качестве самостоятельного вида *U. pinnato-ramosa* Dieck. признается далеко не всеми систематиками и в международной ботанической литературе чаще считается разновидностью (2). В ряде изданий этот вид фигурирует как синоним *U. pumila* L. var. *arboria* Litw., или *U. pumila* L. var. *pinnato-ramosa* Henry. Таким образом, систематическое положение *U. pinnato-ramosa* еще

недостаточно ясно. Однако, обладая быстрым ростом и значительной засухоустойчивостью, *U. pinnato-ramosa* представляет большой интерес для степного лесоразведения. В связи с этим выяснение его систематического положения имеет большое не только теоретическое, но и практическое значение.

Настоящим исследованием была предпринята попытка определить число хромосом у *U. pinnato-ramosa* с целью уточнения систематики этого вида и возможностей использования его в работах по экспериментальной полиплоидии.

В качестве объекта нами использовались сеянцы первого года жизни из семян, собранных на Джаныбекском стационаре Института леса Академии наук СССР в Западно-Казахстанской обл.*. Техника получения соматических корешков необходимой степени готовности следующая.

В июне 1958 г. семена *U. pinnato-ramosa* были посеяны в пикировочные ящики, которые сверху покрывались стеклом и, соответственно, притенялись. Через три недели, после образования 2—3 настоящих листьев, сеянцы были распикированы в глиняные вазоны диаметром 7—9 см и прикопаны в парник, в котором находились в течение 2 недель. В этот период растения регулярно и обильно поливались. Полученные описанным образом корешки, достигшие длины не более 1 см, фиксировались по Навашину, после чего использовались для приготовления постоянных препаратов. Толщина срезов 9 μ . В качестве красителя применялся гематоксилин по Гайденгайну.

Препараты исследовались с помощью биологического микроскопа Цейсс, объектив 90/1,25 Цейсс с ирисовой диафрагмой, окуляр компенсационный 20 \times . Рисунки метафазных пластинок хромосом были сделаны с помощью рисовального аппарата РА-4, микрофотографии — фотоаппаратом «Зоркий».

В результате проведенного исследования было установлено (рис. 1, 2), что соматическое число хромосом у *U. pinnato-ramosa* равно 28 ($2n = 28$). На некоторых пластинках просматривалось только 27 хромосом (рис. 3), что следует объяснить неудобным расположением на таких пластинках некоторых хромосом или несовпадением в отдельных случаях плоскости среза с экваториальной плоскостью ядра.

В ходе просмотра препаратов мы убедились, что у данного объекта препараты с меньшей толщиной срезов (7—8 μ) должны лучше удовлетворять требованиям поставленной задачи. Наше исследование позволило также установить значительную дифференцированность хромосомного набора *U. pinnato-ramosa* с преобладанием в нем более крупных, палочковидных хромосом. В пределах кариотипа также имеет место двууплечение (иногда неравноплечие) хромосомы.

Таким образом, результаты наших исследований вместе с приведенными литературными данными позволяют отнести *U. pinnato-ramosa* к категории

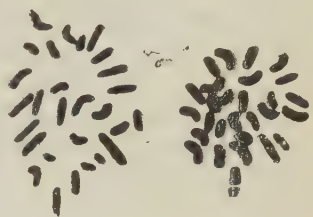


Рис. 1. Соматические пластинки различных срезов корешков *Ulmus pinnato-ramosa* ($2n = 28$)

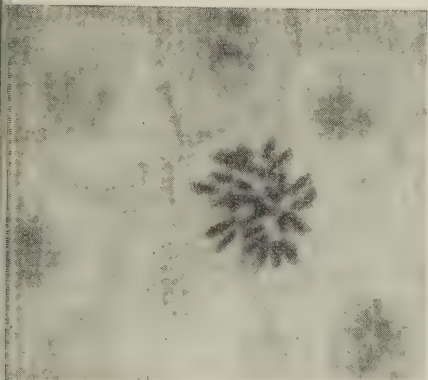


Рис. 2. Соматическая пластинка *Ulmus pinnato-ramosa* ($2n = 28$)

* Исследования проводились по просьбе сотрудницы Отдела защитного лесоразведения Института леса АН СССР С. Д. Эрперт, ею и был любезно предоставлен нам исходный материал.

диплоидных видов с гаплоидным числом хромосом 14, свойственным всему роду *Ulmus*.

Полученные в настоящей работе данные соматического числа хромосом у *U. pinnato-ramosa* ($2n = 28$) также соответствуют аналогичному числу хромосом у *U. pumila*. Однако это еще не может служить прямым доказательством идентичности этих видов так как соотношение $2n = 28$ характерно, как указывалось выше, и для ряда других видов рода *Ulmus*. На основании наших исследований мы можем предположить, что данные относительно числа хромосом у *U. turkestanica* ($2n=56$), приведенные в сводке (⁷), не относятся к туркестанскому карагачу — *U. pinnato-ramosa*, а, по-видимому, характеризуют шаровидные формы ильмовы типах *U. densa* Litw. и *U. Androssowii* Litw.

В заключение мы считаем необходимым поблагодарить П. К. Шкварникова и И. А. Грудзинскую за помощь, оказанную при подготовке данной рукописи к печати.

Институт леса
Академии наук СССР

Поступило
14 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. М. Андронов, Вязы СССР (произрастающие и интродуцированные). Техническая информация по результатам научно-исследовательских работ Лесотех. акад., №№ 35, 36, Л., 1955. ² И. А. Грудзинская, Бот. журн., 41, № 1 (1956). ³ О. Krause, Ber. Dtsch. bot. Ges., 48 (1930). ⁴ Y. A. Leliveld, Cytological studies in the Genus *Ulmus* L. Genetica, s'Gravenhage M. Nijhoff, 1934, p. 15. ⁵ R. Y. Walke, Science, 75, 107 (1932). ⁶ A. Rehder, Manual of Cultivated Trees and Shrubs, Macmillan, N. Y., 1927. ⁷ F. W. Seitz, Zs. Forstgenet. u. Forstpflanzenzücht., 1, H. 1 (1951). ⁸ G. Tischler, Die Chromosomenzahlen der Gefäßpflanzen Mitteleuropas, Gravenhage, 1950.

АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

Л. А. ЛЕБЕДЕНКО

**ОНТОГЕНЕЗ ДРЕВЕСИНЫ КОРНЕЙ И СТВОЛОВ НЕКОТОРЫХ
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ БУКОЦВЕТНЫХ**

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 26 I 1959)

Закономерности изменения размеров элементов древесины в онтогенезе древесных растений изучены достаточно хорошо (см. напр., ⁽¹⁾). Различия между древесиной ствола, откладываемой камбием молодых и взрослых растений, не ограничиваются, однако, только размерами элементов. В литературе ⁽²⁻⁵⁾ имеются сведения о том, что древесина, отложенная около сердцевины, более или менее значительно структурно отличается от древесины, образующейся в последующие годы. Факты усложнения структуры древесины с возрастом растений получены в основном попутно при решении других вопросов анатомии древесины, и наши представления о закономерностях становления зрелой структуры древесины крайне поверхностны. Учитывая отсутствие специальных исследований в этом направлении, мы попытались восполнить этот пробел в наших знаниях, тем более, что данные о сравнительном онтогенезе древесины корней, ствола и веток представляют определенный теоретический интерес и имеют большое значение для целей диагностики, особенно в палеоксилологии.

Изучению подлежали представители порядка *Fagales sensu lato*, являющиеся эдификаторами основных лесных биогеоценозов, а именно *Alnus incana* (L.) Moench., *Betula verrucosa* Ehrh., *Corylus avellana* L., *Carpinus caucasica* A. Grossh., *Fagus orientalis* Lipsky, *Castanea sativa* Mill., *Quercus macranthera* F. et M. Материал в основном собран в Куткашенском районе АзербССР, для сравнения подобраны растения из других флористических областей. Отбиралось по 3 дерева каждой породы. Исследовались корни, на расстоянии 100—200 см от корневой шейки; ствол в его нижней, средней и верхней частях; ветки.

По нашим наблюдениям, древесина, откладываемая в первые годы деятельности камбия, более или менее значительно отличается по своему строению от древесины, образующейся в последующие годы. В древесине корней и стволов молодых растений всегда обнаруживается ряд черт, отсутствующих в древесине взрослых растений. При этом онтогенез древесины корней и ствола протекает неодинаково. Молодые корень и ствол несут много общих черт в строении древесины. Так, все различия между молодыми корнями и стволом дуба и каштана сводятся к отсутствию лестничных перфораций в корне, которые всегда наблюдаются в молодой древесине ствола, и значительно большему, нежели в стволе, объему древесной паренхимы в корне. У ольхи, лещины и граба различия между корнем и стволом сведены к различиям в ширине лучей: в корне лучи шире, чем в стволе. В молодой древесине бука лучи одинаково широки и в корне, и в стволе. В молодом корне бука и ольхи отмечены сетчатые перфорации, отсутствующие в древесине ствола. У березы молодые корень и ствол не отличаются друг от друга.

У одних растений, как у каштана и дуба, сходство в строении корня и ствола наблюдается до 6—7 лет, у других, как, например, у ольхи, оно наблюдается лишь в первых 2—3-годичных кольцах. С возрастом различия

между корнем и стволом увеличиваются, благодаря тому, что не все признаки развиваются одинаково по мере становления зрелой структуры древесины корня и ствола.

Разновозрастный камбий древесных растений откладывает древесину разного строения, и существуют отчетливые различия между древесиной, отложенной в молодом возрасте растения, и зрелой древесиной.

С возрастом растений изменяется строение отдельных элементов, их распределение, соотношение тканей.

Так, у растений, для зрелой древесины которых характерны сосуды с простыми перфорациями, — дуб, каштан, граб, в первых годичных кольцах обнаруживаются сосуды с лестничными перфорациями. У растений с лестничными перфорациями (береза, ольха, лещина) количество перекладин в перфорациях всегда значительно больше в молодой древесине.

Особый интерес представляют трахеидоподобные членики сосудов с простыми окаймленными перфорациями, отмеченные в молодой древесине дуба, каштана, бука и граба. Этот тип члеников сосудов, насколько нам известно, никогда в литературе описан не был.

Межсосудистая поровость в онтогенезе древесины изменяется от лестничной — через промежуточную и супротивную — до очередной.

Кольцесосудистому типу распределения сосудов в онтогенезе древесины предшествует радиальное размещение сосудов. Кольцо просветов образуется у каштана на 10—12 год жизни растения, у дуба — на 8—10 год. В древесине корней дуба кольцесосудистый тип распределения сосудов не достигается, и в зрелой древесине корня дуба отмечается лишь некоторая тенденция к кольцесосудистости. Радиальное размещение сосудов в древесине молодого корня каштана с возрастом нарушается, и древесина старого корня рассеянососудиста.

У растений с рассеянососудистой древесиной заметных изменений в распределении сосудов с возрастом не наблюдается. Длина цепочек сосудов уменьшается в онтогенезе древесины как в корне, так и в стволе.

Лучи первых годичных колец корней и стволов всех исследованных видов растений — гомогенно-палисадные и резко-гетерогенные. Возрастные изменения ведут к гомогенизации их. В корнях полной гомогенизации лучей не наступает даже у тех растений, для зрелой древесины ствола которых характерны строго гомогенные лучи. Рядность лучей также изменяется с возрастом. У дуба в молодой древесине корня и ствола наблюдаются только однородные лучи, впоследствии группирующиеся в агрегатные лучи в корне и в настоящие широкие в стволе. У каштана, наоборот, широкие лучи можно встретить лишь в первых нескольких слоях, тогда как для всех последующих колец характерны однородные лучи. В молодой древесине граба лучи 1—2-рядные. С возрастом одна часть лучей, группируясь, дает начало агрегатным лучам, другая постепенно увеличивается в рядности до 4 клеток в ширину. У березы 1—3-рядным лучам предшествуют широкие лучи, в 10—15 клеток в ширину. У ольхи и бука характерные для их древесины лучи — агрегатные у ольхи и широкие у бука — тянутся от сердцевины, но типичное строение их также достигается не сразу.

Древесная паренхима у растений исследуемой группы не обнаруживает значительных изменений в онтогенезе, и у большинства видов характер распределения паренхимы одинаков во всех годичных кольцах.

Поры между клетками лучей, клетками паренхимы и сосудами всегда сильно вытянуты в молодой древесине, расположены в один вертикальный ряд на стенках стоячих клеток лучей и клеток паренхимы («лестничные») и разбросаны в беспорядке по стенкам квадратных и лежащих клеток лучей. Такой тип пористости на стенках клеток лучей и паренхимы сохраняется у некоторых пород во взрослой древесине корня, у других, так же как и в стволе, сменяется другим, характерным для данного вида растения.

По нашим наблюдениям, становление характерной для данного вида структуры древесины протекает неодинаково у различных растений. Как

общее правило, у растений с высокоорганизованной древесиной формирование древесины происходит медленнее, чем у растений с низкоорганизованной древесиной. Так, у дуба дефинитивная структура древесины достигается на 8—10 год и у каштана на 12—14 год жизни, в то время как у ольхи и березы 3—4-годовалое кольцо уже несет все признаки зрелой древесины.

Все этапы онтогенеза древесины, характерного для данного вида, полностью выражены только в молодом растении (первые годичные кольца нижней части ствола), где древесина образуется возрастно молодой меристемой. В древесине, образованной возрастно старыми меристемами (верхняя часть ствола и ветки), отдельные стадии онтогенеза обычно выпадают, и если в первых годичных кольцах молодого растения, выросшего из семени, наблюдается ряд примитивных признаков, отсутствующих в зрелой древесине, то в 2—3-летней ветке старого дерева эти признаки уже отсутствуют. Кроме того, темп возрастных изменений в ветке значительно ускорен и 3—5-летняя ветка несет все признаки строения зрелой древесины даже у тех растений, у которых формирование древесины в молодых растениях происходит на протяжении 10—14 лет.

Эти закономерности онтогенеза древесины, выражающиеся, во-первых, в ускорении формирования зрелой древесины и, во-вторых, в изменении характера откладываемой древесины, в равной мере относятся как к стволу, так и к корню. В онтогенезе древесины корней также происходит постепенное сглаживание различий между молодой и зрелой древесиной и также ускоряется становление типичной структуры. Так, древесина главного корня дуба, в 10 см от корневой шейки, приобретает свое законченное строение к 12—14 годам, а в корне, удаленном на 100 см от шейки, уже 2—3-годовалое кольцо несет все признаки, характерные для зрелой древесины этой части корня. Древесина боковых корней, значительно удаленных от оси растения, во всех годичных кольцах имеет одинаковое строение.

Отмеченные выше структурные изменения, происходящие в онтогенезе древесины корней и ствола, позволяют думать, что меристемы (как апикальная, так и латеральная) в течение своей жизни претерпевают определенные возрастные изменения, сказывающиеся на характере отлагаемой ими ткани. Правда, прямых цитологических доказательств разнотипности меристем мы пока не имеем. Последние работы некоторых французских анатомов (например, (6,7)) указывают, однако, на то, что внимательное цитологическое исследование, в частности исследование хондриссома, может дать очень многое для суждения о различиях между отдельными клетками апикальных меристем.

Возможно, конечно, рассматривать различия древесины различного возраста не как следствие каких-то различий в самом камбии, но как результат определенных (гормональных или иных) воздействий на камбиальную ткань. С этой точки зрения факторы, управляющие дифференциацией камбиальных производных, естественно, различные на последовательных этапах развития древесного растения, определяют собой развитие клеток, происшедших из разновозрастных, но, по сути дела, равнозначных меристем. Следует признать, однако, что в пользу этой точки зрения мы не имеем никаких прямых доказательств. Тот факт, что дифференциация ксилемы происходит под воздействием ауксинов в паренхимных тканях, культивируемых *in vitro*, был достаточно убедительно показан рядом авторов (например, (8)).

Однако то, что кубик агар-агара с ауксином³ индуцирует в массе паренхимных тканей каллюса, культивируемого *in vitro*, образование сосудов, вовсе не свидетельствует о том, что на одной стадии развития растений в точках роста образуются одни ауксины, дифференцирующие, например, сосуды с лестничными перфорациями, а на другой — другие, образующие сосуды с простыми перфорациями. Некоторый свет на этот вопрос могли бы пролить исследования культур камбиальной ткани *in vitro*,

проводившиеся в последние годы Жакио (⁹). Анатомические данные в этих исследованиях, однако, пока что освещаются настолько скудно, что интерпретация их в этом плане оказывается невозможной.

Институт леса
Академии наук СССР

Поступило
24 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. Spurr, M. Hyvärinen, Bot. Rev., 20, 9 (1954). ² C. Houli bert Rev. Gen. Bot., 11, 106 (1899). ³ J. Saint-Lourent, Bull. Stat. forest. Nord d'Afrique, 2, 1 (1932). ⁴ А. А. Яценко-Хмелевский, Тр. Бот. инст. АН АрмССР, 5, 5 (1948). ⁵ В. Е. Вихров, Строение и физико-механические свойства древесины дуба в связи с условиями произрастания, Изд. АН СССР, 1954. ⁶ R. Buvat, Ann. Sci. Nat. Bot., 13 (1952). ⁷ A. Guerindon, C. R., 240, 5 (1955). ⁸ R. Wetmore, S. Sorokin, J. Arnold Arboretum, 36, 305 (1955). ⁹ C. Jacqucot, C. R., 240, 5 (1955).

ЭМБРИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. Н. ПОЛУНИНА и А. И. СВЕШНИКОВ

**МИКРОКИНОСЪЕМКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПЫЛЬЦЫ И ПЫЛЬЦЕВЫХ
ТРУБОК НЕКОТОРЫХ АМАРИЛЛИСОВЫХ**

(Представлено академиком Н. В. Цициным 21 I 1959)

В лаборатории физиологии развития растений Главного ботанического сада АН СССР при изучении пыльцы и пыльцевых трубок, наряду с другими методами исследования, применяется метод микрокиносъемки с цейтраферной установкой. Работа проводится под руководством проф. В. А. Поддубной-Арнольди и осуществляется совместно с кинолабораторией студии Моснаучфильм.

Микрокиносъемка является новым и чрезвычайно важным методом исследования течения процессов жизнедеятельности на живом материале. Этот метод дает иногда весьма убедительное решение некоторых спорных вопросов биологии. Так, в литературе уже давно ведется спор о характере движения мужских половых клеток высших растений. Одни исследователи считают, что спермии передвигаются пассивно с током плазмы (¹⁻³), другие же предполагают, что генеративная клетка и спермии способны к самостоятельному движению (⁴⁻⁸). Метод цейтраферной микрокиносъемки пыльцы и пыльцевых трубок в живом состоянии помогает окончательно решить этот спорный вопрос.

В качестве материала мы выбрали пыльцу гибридной формы *Amaryllis**, *Clivia miniata* Regel и *Crinum abyssanicum* Hochst. У этих растений прозрачность плазмы и оболочек пыльцы и пыльцевых трубок, наряду с желто-зеленой окраской плазмы генеративной клетки и спермиев от наличия в ней окрашенных пластид, обеспечивает хорошую видимость при микрокиносъемке.

Пыльца проращивалась на искусственной питательной среде, состоящей из 1% агар-агара в 10—20% растворе сахарозы при температуре 25°. Пыльцевые зерна высевались на предметные стекла, куда предварительно наливался слой питательной среды, и накрывались покровным стеклом. Для лучшего доступа воздуха к прорастающим пыльцевым зернам и трубкам, в питательной среде вырезались бритвой желобки. Чтобы избежать высыхания питательной среды, покровные стекла запаивались кругом парафином, за исключением небольшого отверстия, через которое проходил воздух по желобкам к пыльце и пыльцевым трубкам. Изготовленные таким образом препараты с пыльцой помещались под объектив микроскопа и через определенный промежуток времени снимались на киноплёнку. Лучшие результаты были получены при съемке с ускорением в 24—120 раз, т. е. 1—5 кадров в секунду.

При просмотре кинофильма на экране за какие-нибудь 15—20 мин. перед глазами проходит весь процесс, начиная с прорастания пыльцевого зерна до деления генеративной клетки и образования спермиев, который на искусственной среде совершается в течение 18—24 час.

В набухших пыльцевых зернах еще задолго до их прорастания активно передвигается не только плазма пыльцевого зерна, но и генеративная

*Гибриды *Amaryllis* выведены В. Н. Шмыгун.

клетка и вегетативное ядро. Здесь особенно интересно поведение вегетативного ядра, которое почти все время находится в непосредственной близости с генеративной клеткой и вместе с ней совершает резкие колебательные и вращательные движения.

Через 1—3 часа пыльцевые зерна начинают прорасти, причем как в начале прорастания, так и при последующем росте пыльцевой трубки ясно видно, что она растет в длину только своим кончиком.

При прорастании часть содержимого пыльцевого зерна переходит в пыльцевую трубку. Однако между пыльцевой трубкой и пыльцевым зерном все время происходит обмен, осуществляющийся путем струйчатого движения плазмы. Генеративная клетка не сразу после прорастания пыльцы входит в пыльцевую трубку; неоднократно подходя к поре пыльцевой трубки, она снова отходит. Наконец, через 3—5 час, после посева пыльцы, когда уже значительная часть содержимого пыльцевого зерна переходит в пыльцевую трубку, туда же входит и генеративная клетка (рис. 1). Как правило, вегетативное ядро разрушается еще в пыльцевом зерне и в пыльцевую трубку не входит.

Плазма пыльцевой трубки перемещается сравнительно быстро, причем ее струйчатое движение совершается в основном по двум направлениям: с одной стороны — от пыльцевого зерна к кончику пыльцевой трубки, а с другой — от кончика пыльцевой трубки по направлению к пыльцевому зерну. Часто наблюдаются и встречные токи.

Генеративная клетка движется значительно медленнее плазмы пыльцевой трубки, даже если она передвигается в одном направлении с током плазмы. Генеративная клетка может двигаться и против потока плазмы пыльцевой трубки, который идет от кончика трубки к пыльцевому зерну. Чаще генеративная клетка оказывается между встречными потоками плазмы, идущими в разных направлениях, причем независимо от направления и скорости перемещения плазмы пыльцевой трубки она не вращается вокруг своей оси, а сохраняет свое направленное поступательное движение.

Во время передвижения вдоль пыльцевой трубки генеративная клетка несколько изменяет свою форму: то один, то другой из ее кончиков становится более узким и заостренным или более коротким и округлым (рис. 1 и 2). Но, независимо от своей формы, генеративная клетка движется вперед только одним кончиком и не теряет своей направленности и ориентировки.

На своем пути генеративная клетка иногда встречает ряд препятствий, которые она почти всегда активно преодолевает. Так, например, встречные токи плазмы в пыльцевой трубке бывают настолько сильными, что они мешают направленному движению генеративной клетки, которая в таких случаях приостанавливается, но затем снова продолжает свой путь.

Диаметр пыльцевой трубки не везде одинаков. В некоторых местах пыльцевая трубка бывает настолько узкой, что генеративная клетка как бы с усилием протискивается сквозь небольшое отверстие. Иногда полость трубки бывает настолько суженной, что генеративная клетка несколько раз отходит назад, поворачивается вокруг своей оси, делает несколько быстрых колебательных движений, сопровождающихся незначительным изменением ее формы, а затем снова и снова подходит к узкому месту, пока, наконец, не преодолеет это препятствие.

При подготовке к делению и в период самого деления (через 18—24 часа) генеративная клетка начинает постепенно замедлять свое движение, а затем и совсем останавливается (ср. рис. 2 и 3), в то время как плазма пыльцевой трубки продолжает передвигаться с прежней скоростью. Внутри ядра генеративной клетки начинается энергичное перемещение, как бы медленное «кипение» содержимого. Затем в ядре обособляются хромосомы, которые расходятся по сторонам генеративной клетки, образуя два ядра спермиев (рис. 3).

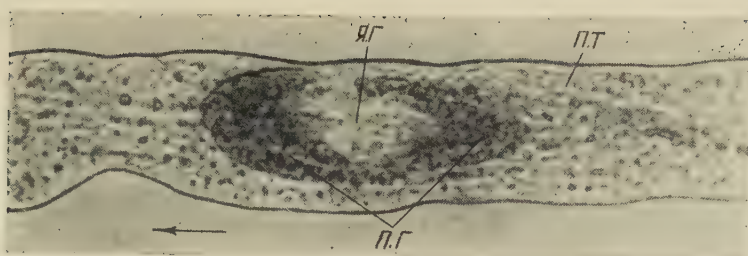


Рис. 1. Кадр, показывающий пыльцевую трубку гибридной формы *Amaryllis* с генеративной клеткой вскоре после ее выхода из пыльцевого зерна. Стрелка направлена к кончику пыльцевой трубки. п.т.—пыльцевая трубка, я. г.—ядро генеративной клетки, п.г—плазма генеративной клетки с пластидами



Рис. 2. Кадр с 4 пыльцевыми трубками *Crinum abyssinicum*. В нижней пыльцевой трубке видна генеративная клетка перед наступающим делением. Обозначения те же, что на рис. 1

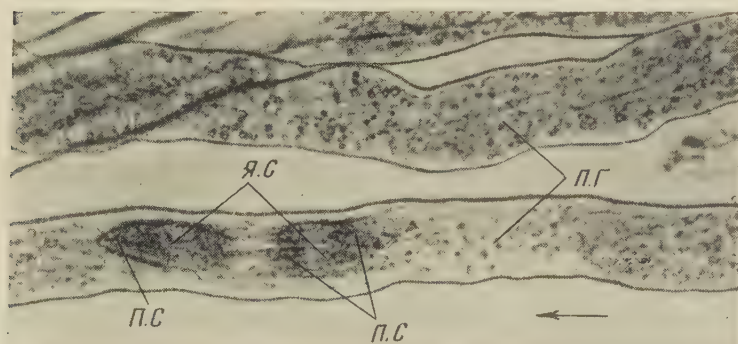


Рис. 3. Пыльцевые трубки *Crinum abyssinicum*, показанные на рис. 2, после деления генеративной клетки. Сравнение с рис. 2 показывает, какое небольшое расстояние прошла генеративная клетка от начала деления до образования спермиев. я.с.—ядро спермия, п.с—плазма спермия с пластидами. Остальные обозначения те же, что на рис. 1

Во время деления, пока ядра спермиев находятся в общей цитоплазме генеративной клетки, происходит перемещение желто-зеленых пластид, которые примерно поровну распределяются вокруг каждого ядра спермиев (рис. 3).

Теперь генеративная клетка постепенно возобновляет свое поступательное движение, к моменту же появления перегородки в плазме генеративной клетки между ядрами спермиев движение ее ускоряется. После того как спермии полностью обособляются и становятся самостоятельными клетками, они передвигаются вдоль пыльцевой трубки с еще большей скоростью. Сразу после деления генеративной клетки спермии находятся почти рядом друг с другом, но постепенно расстояние между ними увеличивается.

Спермии сохраняют такую же направленность движения, как и у генеративной клетки: каждый из двух спермиев одной пыльцевой трубки движется вперед только одним кончиком. Кроме того, спермий, образованный из той части генеративной клетки, которая была обращена к кончику пыльцевой трубки, в своем поступательном движении находится впереди второго, идущего на некотором расстоянии от первого.

Таким образом, метод цейтраферной микрокино съемки наглядно показывает, что генеративная клетка и спермии перемещаются не пассивно с током плазмы, а двигаются направленно, самостоятельно, активно, иногда с трудом преодолевая такие препятствия, как сильный встречный поток плазмы или сужение диаметра пыльцевой трубки. Замедление и даже остановка движения генеративной клетки в период деления — в то время, когда плазма пыльцевой трубки продолжает передвигаться с прежней скоростью, — также является наглядным доказательством самостоятельной активности генеративной клетки.

Главный ботанический сад
Академии наук СССР

Поступило
2 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. Strasburger, Ueber Befruchtung und Zelltheilung, Jena, 1878. ² E. Strasburger, Neue Untersuchungen über den Befruchtungsvorgang bei den Phanerogamen als Grundlage für eine Theorie der Zeugung, Jena, 1884. ³ E. Strasburger, Bot. Ztg., 58, Abt. № 19/20, 293 (1900). ⁴ С. Г. Навашин, Избр. тр., 1, Изд. АН СССР, 1951. ⁵ С. Г. Навашин, Юбилейный сборник, посвященный И. П. Бородину, Л., 1927. ⁶ К. Ю. Кострюкова, М. В. Чернояров, Сборн. памяти А. В. Фомина, Киев, 1938. ⁷ К. Ю. Кострюкова, ДАН, 22, 7 (1959). ⁸ К. Ю. Кострюкова, Г. К. Бенедкая, Изв. АН АрмССР, 11, № 9 (1958).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

П. А. ГЕНКЕЛЬ и Г. М. ЖИВУХИНА

**ПРОЦЕСС ОБОСОБЛЕНИЯ ПРОТОПЛАЗМЫ КАК ВТОРАЯ ФАЗА
ЗАКАЛИВАНИЯ ОЗИМЫХ ПШЕНИЦ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 2 II 1959)

Устойчивые к морозу растения обладают длительным и глубоким покоем. Ранее (¹⁻³) было установлено, что устойчивость тканей покоящихся растений определяется в основном особенностями состояния протоплазмы в период покоя. Состояние покоя характеризуется отсутствием ростовых процессов, снижением интенсивности обмена и явлением обособления протоплазмы.

У озимых пшениц замедление ростовых процессов в осенний период и их полная приостановка при небольших отрицательных температурах наблюдались многими исследователями (⁴⁻⁸). Установлено, что в период покоя содержание ростовых веществ в растениях заметно снижается (^{9, 10, 11, 12}).

Ряд работ, констатирующих обособление протоплазмы в клетках озимых культур, появилось в последние годы (¹³⁻¹⁷), после выхода в свет работы Генкеля и Окниной (²). Установлено, что в состоянии покоя и у закаленных к морозу растений протоплазма отличается повышенной вязкостью и низкой проницаемостью (^{18, 19}). Озимая пшеница в зимний период характеризуется крайне незначительной интенсивностью физиологических процессов (^{20, 21}). Состояние покоя у озимых малоустойчиво. Достаточно перенести озимую пшеницу зимой на несколько дней в теплое помещение, и она, в отличие от древесных, быстро возобновляет ростовые процессы. Причина быстрого выхода озимых из состояния покоя заключается (³) в отсутствии глубокого превращения запасных защитных веществ в клетках этих растений, и накопления жиров, обеспечивающих устойчивое состояние покоя. Переход растений в состояние покоя происходит под влиянием осенних условий температуры и освещения. В этих же условиях проходит закаливание растений к низким температурам. Таким образом, закаливание и переход к покою охватывают один и тот же период в жизни растений и отражают одни и те же процессы, в ходе которых растительные организмы приобретают свойство морозоустойчивости. Закаливание растений осуществляется двумя этапами: 1) этап накопления углеводов и 2) этап изменения физико-химических свойств протоплазмы (⁶).

В настоящей работе проводилось цитофизиологическое изучение состояния озимой пшеницы в осенне-зимний период. Наши наблюдения подтвердили факт обособления протоплазмы от клеточных оболочек в позднеосенний и зимний период. Было обнаружено, что в разных органах озимой пшеницы степень покоя неодинакова. Листьям озимых свойственен незначительный покой. Только в некоторых клетках эпидермиса наблюдалось частичное обособление протоплазмы, в течение осени и зимы преобладал вогнутый плазмолиз. В конце декабря — в январе в листьях появилось много поврежденных и мертвых клеток. Наиболее полный (по числу клеток с обособленной протоплазмой) и устойчивый (по срокам сохранения обособления протоплазмы) покой наблюдался в клетках

конуса нарастания и узла кушения. При отрастании озимой пшеницы в январе обособление протоплазмы в клетках узла кушения исчезало на 8—10 сутки, что соответствует данным Ф. М. Куперман⁽²²⁾, согласно которым новые побеги и корни из узлов кушения начинают появляться только на 15 сутки, после создания необходимых для роста условий температуры, влажности и освещения. К моменту появления обособления протоплазмы, что определялось визуально, по форме плазмолиза и состоянию плазмодесм, в клетках узла кушения и конуса нарастания содержалось большое количество растворимых углеводов (реакция с α -нафтолом) и полностью отсутствовал крахмал (реакция с раствором Люголя). Осенью 1957 г. определение растворимых углеводов было проведено с помощью круговых хроматограмм⁽²³⁾. Хроматографические анализы показали, что в клетках узла кушения содержится глюкоза, фруктоза и какие-то малоподвижные олигосахариды, проявляющиеся реактивом МС в местах нанесения вытяжек. Параллельно определению сахаров были проведены

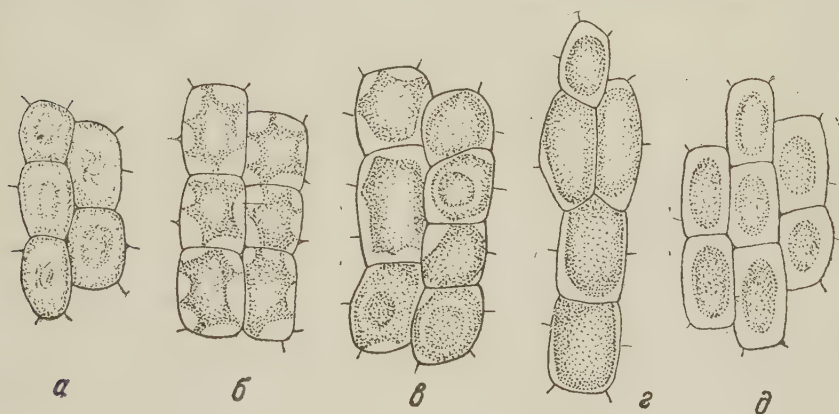


Рис. 1. Клетки конуса нарастания. Пшеница сорта Московская 2411. Фиксация по Гелли. а — 22 X, обособление протоплазмы отсутствует; б — 22 X, вогнутый плазмолиз в молярном растворе сахарозы; в — 1 XI, вогнуто-округленный плазмолиз в молярном растворе сахарозы; г — 11 XI, обособление протоплазмы в дистиллированной воде; д — 11 XI, выпуклый плазмолиз в молярном растворе сахарозы

микроскопические наблюдения за содержанием крахмала в клетках узла кушения. Динамика превращения углеводов осенью 1957 г. дала следующую картину. В октябре содержание глюкозы и фруктозы было очень небольшим (если оценивать сравнительно с метчиками по пятибалльной системе, то оно равнялось примерно 2 баллам). Одновременно было обнаружено значительное количество крахмала в клетках коровой и сердцевинной паренхимы узла кушения. Резкое возрастание количества сахаров в тканях узла кушения наблюдалось с 10 до 13 XI, когда температура воздуха упала до 3—2°. Очевидно, растения озимой пшеницы проходили в эти дни I фазу закаливания. В дальнейшем содержание фруктозы и глюкозы оставалось постоянным. Олигосахариды на протяжении осенних и зимних месяцев неизменно имелись в большом количестве. В первую половину ноября в клетках узла кушения, наряду с повышением содержания сахаров, отмечалось полное исчезновение крахмала. Быстрое, резкое увеличение содержания растворимых углеводов объясняется, по-видимому, не только значительной интенсивностью фотосинтеза при замедленных ростовых процессах, но и переходом в этот период содержавшегося в клетках узла кушения крахмала в сахар. При сравнении полученных результатов по динамике накопления сахаров и данных по срокам обособления протоплазмы обнаруживается вполне определенная последовательность этих процессов: обособ-

ление протоплазмы в клетках узла кущения озимых пшениц началось после интенсивного накопления углеводов, т. е. после окончания I фазы закаливания. Накопление сахаров отмечалось с 10 по 13 XI, а процесс обособления протоплазмы проходил с 16 по 26 XI. Указанная последовательность наблюдалась у ряда сортов (табл. 1).

При переходе растений в зимний покой начало процесса обособления протоплазмы во многом определяется температурными условиями окружающей среды. Осенью 1956 г. в октябре метеорологические условия были благоприятны для вегетации — стояла теплая солнечная погода. Микроскопи-

Таблица 1

Сроки накопления сахаров и обособления протоплазмы в клетках узла кущения озимых пшениц

Дата	Среднесуточная температура в °C	Сорт	Колич. сахаров в баллах		Процент клеток с обособл. протоплазмы
			глюкоза	фруктоза	
1957 г.					
20 X	+15	Безенчукская	2	2	0
	+15	Гостианум 237	1	2	0
1 XI	+11	Безенчукская	2	2	0
	+11	Гостианум 237	2+	2+	0
1-9 XI	+7	Пшенично-пырейный гибрид 186	2	2	0
13 XI	+3	Безенчукская	5	5	0
	+3	Гостианум 237	5	5	0
16 XI	-2	Безенчукская	5	5	2-4
	-2	Гостианум 237	5	5	2-4
20 XI	-6	Безенчукская	5	5	60
26 XI	-8	Безенчукская	6	5	90
	-8	Гостианум 237	5	5	40
30 XI		Безенчукская			
	-15	П-Ж	5	5	90
	-15	Гостианум 237	5	5	60

ческие исследования, проведенные на ряде сортов озимой пшеницы (Московская 2411, Пшенично-пырейный гибрид 599, Петровская 7, Гостианум 237, Дмитровская, Альборубрум и Лютесценс 329), 22, 25 и 28 X показали отсутствие обособления протоплазмы в клетках узла кущения и конуса нарастания (рис. 1а), форма плазмолиза была вогнутая (рис. 1б). 29 X температура внезапно и резко упала до -5° , наступило устойчивое длительное похолодание. 1 XI было отмечено появление обособления протоплазмы в отдельных клетках конуса нарастания и узла кущения у сортов Пшенично-пырейный гибрид 599 и Московская 2411, плазмолиз в ряде клеток

имел вогнуто-округленную форму (рис. 1 в). 5 XI количество клеток с обособившейся протоплазмой значительно увеличилось, преобладал выпуклый и вогнуто-округленный плазмолиз. 10 XI у всех сортов в клетках узла кущения и конуса нарастания визуально наблюдалось обособление протоплазмы (рис. 1г), форма плазмолиза — выпуклая (рис. 1д). Осенью 1957 г. обособление протоплазмы в клетках озимых пшениц впервые было отмечено 16 XI. 20 XI у сортов Пензенская и Безенчукская в клетках узла кущения преобладала выпуклая форма плазмолиза, у большинства клеток протоплазма была обособлена от клеточных стенок. К 26 XI процесс обособления протоплазмы у этих сортов почти полностью завершился. Сопоставление результатов наблюдений по двум годам показало, что переход озимых в состояние покоя происходит не в одни и те же сроки. Осенью 1956 г. процесс обособления протоплазмы закончился к 10 XI, а осенью 1957 г. обособление протоплазмы в клетках узла кущения и конуса нарастания только начало появляться 16 XI и окончилось к 26 XI. Эта разница в прохождении процессов приготовления растений к перезимовке, несомненно, обусловлена влиянием температурных условий. Осенью 1956 г. значительное устойчивое похолодание началось в последних числах октября. Осенью же 1957 г. положительные температуры сохранялись до 14 XI, а устойчивое понижение температуры до уровня от -5 до -12° отмечено лишь с 24 XI. Теплая погода в первой половине ноября, отсутствие отрицательных температур вызвали задержку процесса обособления протоплазмы. Таким образом, обособление протоплазмы в клетках озимых пшениц проходит при

вполне определенных температурных условиях, а именно при небольших отрицательных температурах, от -5 до -8° .

Проведенные нами наблюдения показывают, что, во-первых, обособление протоплазмы от клеточных стенок начинается после завершения I фазы закаливания, после накопления в клетках растворимых углеводов, и что, во-вторых, обособление протоплазмы проходит при небольших отрицательных температурах. Иными словами, условия прохождения процесса обособления протоплазмы в клетках озимых пшениц являются теми условиями, при которых осуществляется II фаза закаливания озимых, связанная с физико-химическими изменениями протоплазмы. Очевидно, что обособление протоплазмы происходит именно на II фазе закаливания и представляет собой завершающий этап формирования свойства морозоустойчивости озимых в осенних условиях.

Институт физиологии растений
им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР

Поступило
2 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Генкель, Вестн. АН СССР, 8 (1948). ² П. А. Генкель, Е. З. Окнина, Тр. Инст. физиол. растений, 6, в. 1 (1948). ³ П. А. Генкель, Е. З. Окнина, Диагностика морозоустойчивости растений по глубине покоя их тканей и клеток. (Методические указания), Изд. АН СССР, 1952. ⁴ А. И. Стебут, Вестн. сельск. хоз., № 6 (1916). ⁵ И. И. Туманов, Физиологические основы зимостойкости культурных растений, 1940. ⁶ И. И. Туманов, Основные достижения советской науки в изучении морозоустойчивости растений. Тимирязевское чтение, 11, 1951. ⁷ И. М. Васильев, Зимовка растений, Изд. АН СССР, 1956. ⁸ В. Г. Гриф, ДАН, 108, № 4 (1956). ⁹ Л. М. Ярковая, ДАН, 23, № 1 (1939). ¹⁰ Г. Х. Молотковский, ДАН, 68, № 2 (1949). ¹¹ И. И. Туманов, Т. И. Трунова, Журн. физиол. растений, 5, в. 2 (1958). ¹² И. А. Тарчевский, Уч. зап. Казанск. гос. унив., 115, кн. 7 (1955). ¹³ Т. С. Сулакадзе, Тр. Тбилисского бот. инст., 13 (1949). ¹⁴ В. Г. Гриф, Уч. зап. ЛГУ, № 165, сер. биол., в. 33 (1953). ¹⁵ Х. Кирилей, Биол. журн. АН Румынской Нар. Респ., 3 (1954). ¹⁶ П. Т. Коломиец, Журн. физиол. растений, 2, в. 2 (1955). ¹⁷ Т. Ф. Лупарёва, Журн. физиол. растений, 5, в. 1 (1958). ¹⁸ Б. М. Голуш, Тр. Инст. физиол. растений, 1, № 2 (1937). ¹⁹ Т. С. Сулакадзе, Я. Е. Элленгорн, Сообщ. АН ГрузССР, 6, № 10 (1945). ²⁰ Л. И. Говоров, Тр. по прикл. бот., ген. и сел., 13, № 1 (1923). ²¹ R. Newton, I. A. Anderson, Canad. J. Res., 5, № 3, 337 (1931). ²² Ф. М. Куперман, Биологические основы культуры пшеницы, 1, 1950. ²³ А. Н. Бояркин, Журн. физиол. раст., 2, в. 3 (1955).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. М. ОВЕСНОВ и А. А. ЩЕКИНА

**О ВЛИЯНИИ ПОДЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ ПЫРЕЯ И ОСОТА
НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ЛУГОВЫХ ТРАВ**

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 26 I 1959)

Для получения высокого урожая многолетних кормовых трав необходима чистая от сорняков почва. На сильно засоренном поле, как правило, травы не удаются. В литературе этот факт объясняется медленным ростом многолетних трав, не способных успешно бороться за пищу, влагу и свет с быстро растущими сорняками. Однако, как показывают исследования, угнетающее действие сорных растений на луговые травы обусловливается не только перехватыванием воды, света и элементов минерального питания, но и созданием других неблагоприятных факторов среды для возделываемых растений.

Изучая посевные качества семян дикорастущих кормовых трав, мы обратили внимание на тот факт, что при посеве на сильно засоренных участках они дают слабые, изреженные всходы, хотя в этот период в почве вполне достаточно влаги и борьба за пищу не может быть острой, так как сорняки и культура только еще появляются на поверхности почвы и затенения одних растений другими нет. Мы предположили, что обнаруженное явление связано с выделением в почву подземными частями сорняков веществ, тормозящих прорастание семян и рост их проростков.

Влияние различных выделений растений на их взаимоотношения при совместном произрастании отмечалось в литературе давно, но привлекло к себе должное внимание лишь в последние годы (^{3,5,6}). Угнетающее действие корневых выделений сорняков, и особенно пырея, на древесные растения показано рядом исследователей (^{1,2,4}), с кормовыми же травами работы в этом направлении не проводились.

Мы в течение трех лет изучали влияние корневищ *Agropyrum repens* и корней *Cirsium arvense* и *Sonchus arvensis* на прорастание семян злаковых и бобовых трав.

Опыты проводились в лабораторных условиях путем проращивания семян в чашках Петри (при комнатной температуре) в следующих вариантах:

К о н т р о л ь — проращивание семян на фильтровальной бумаге, смоченной водой.

В а р и а н т I. Проращивание с корневищами пырея или с корнями бодяка и осота — на влажный фильтр закладывалось по 5 отрезков корней, — длиной в поперечник чашки, между которыми помещались семена.

В а р и а н т II. Проращивание на ложе, смоченном водной вытяжкой из корней и корневищ — 100 г на 500 г воды.

В а р и а н т III. Проращивание на крошке из корней и корневищ — мелко изрезанные подземные части раздавливались, затем накладывались на дно чашки слоем в 0,5 см, смачивались водой и покрывались фильтром, на который помещались семена.

Из табл. 1 видно, что выделения корневищ пырея и корней бодяка и осота, особенно при высокой концентрации, сильно снижают процент проросших семян. Степень влияния на разные виды неодинакова. Наибольшее

Таблица 1

Влияние корневищ *Agropyrum repens* и корней *Cirsium arvense* и *Sonchus arvensis* на прорастание семян луговых трав (количество проросших семян в процентах к контролю)

Растение	Agropyrum repens			Cirsium arvense			Sonchus arvensis		
	вар. I	вар. II	вар. III	вар. I	вар. II	вар. III	вар. I	вар. II	вар. III
Мятлик луговой	75	54	8	85	100	4	61	94	1
Овсяница луговая	96	61	61	91	94	78	93	100	10
Тимофеевка луговая	100	56	60	93	97	64	95	94	15
Овсяница красная	102	80	71	101	100	54	92	97	26
Лисохвост луговой	96	56	7	91	—	51	98	48	60
Бекмания обыкновенная	—	—	—	50	80	24	—	—	—
Рэгнерия волокнистая	153	106	35	110	120	78	88	94	94
Пырей ползучий	105	119	15	88	84	35	92	130	71
Клевер красный	101	—	95	94	97	77	97	93	93
Люцерна синегридная	97	—	96	92	97	93	87	93	93
Донник белый	96	—	94	100	96	91	100	93	97

снижение всхожести получено у семян мятлика, лисохвоста, бекмании и овсяницы луговой. У тимopheевки, овсяницы красной, рэгнерии волокнистой и пырея ползучего всхожесть семян резко падает только при высокой концентрации корневых выделений, при слабой же наблюдается небольшое снижение всхожести или даже некоторое повышение процента всхожих семян (рэгнерия, пырей). Всхожесть семян бобовых во всех вариантах снижается слабо, в пределах 3—13%.

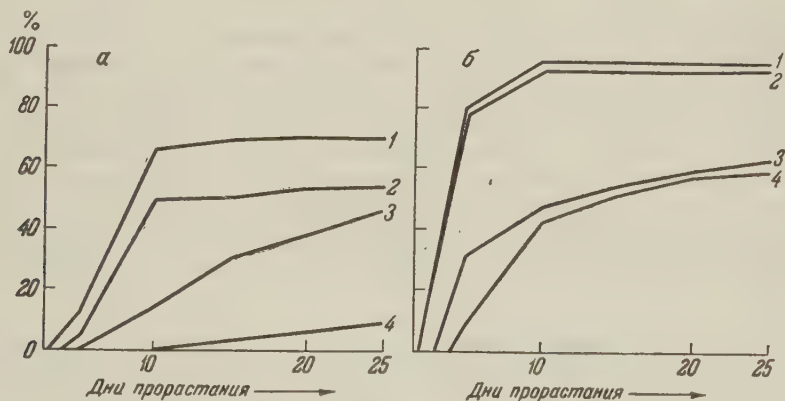


Рис. 1. Прорастание семян мятлика лугового (а) и овсяницы луговой (б): 1 — контроль, 2 — с корневищами пырея, 3 — на водной вытяжке из корневищ пырея, 4 — на крошке из корневищ пырея

Помимо снижения всхожести, падает энергия и удлиняется период прорастания семян (рис. 1). Так, у мятлика лугового за 10 суток проросло: в контроле 66%, с корневищами 49%, на водной вытяжке 14% и на крошке 1% семян. У овсяницы луговой за 7 суток: контроль 87%, с корневищами 83%, на водной вытяжке 38% и на крошке 22%. Аналогичная картина наблюдалась при прорастании семян других видов, за исключением рэгнерии, пырея и бобовых, у которых энергия прорастания падала в очень незначительной степени.

Выделения корневищ пырея оказывают сильное влияние на рост проростков (табл. 2). Проростки всех злаков угнетаются в сильной степени, причем тем больше, чем выше концентрация выделений корневищ в опыте. При

проращивании на водной вытяжке стебель проростков у разных видов оказался в 2—5, корень в 3—25 раз короче, чем в контроле; при проращивании с корневищами у большинства злаков стебель и корень оказались меньше контроля на 5—25 %, а у рэгнерии и пырея даже превысили контрольные. Рост корней проростков злаков тормозится сильнее, чем стеблей. Проростки

Т а б л и ц а 2

Влияние корневищ *Agropyrum repens* на рост проростков луговых трав (длина проростков в процентах к контролю на 5 сутки у бобовых и на 10 сутки у злаков)

Растения	Вариант					
	I		II		III	
	стебель	корень	стебель	корень	стебель	корень
Мятлик луговой	100	82	39	9	39	15
Овсяница луговая	89	98	31	7	24	7
Тимофеевка луговая	75	94	73	24	61	41
Овсяница красная	94	96	53	4	63	33
Лисохвост луговой	87	75	60	11	10	7
Рэгнерия волокнистая	102	92	19	30	0	0
Пырей ползучий	93	109	41	14	23	7
Клевер красный	114	160	—	—	52	60
Люцерна синегридная	117	109	—	—	89	87
Донник белый	107	139	—	—	70	97

бобовых трав при слабых концентрациях корневых выделений растут быстрее, чем в контроле, при сильных — отстают от контроля на 10—40 %.

Аналогичное угнетающее действие на рост проростков, но в более слабой форме, чем корневища пырея, оказывали корни бодяка и осота.

Таким образом, опыты показали, что подземные части пырея ползучего, бодяка и осота полевого обладают специфическими веществами, которые в сильной степени снижают всхожесть и энергию прорастания семян луговых злаков, удлиняют период прорастания их и угнетают рост проростков. Надо полагать поэтому, что при высокой насыщенности пахотного горизонта почвы корневищами пырея и корнями бодяка и осота создается неблагоприятная среда для появления дружных всходов луговых трав. Вот почему многолетние, особенно злаковые травы не дают на засоренных участках хорошего урожая даже в том случае, если почва имеет достаточный запас влаги и питательных веществ.

Естественно-научный институт
при Пермском государственном университете
им. А. М. Горького

Поступило
10 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. И. Вигоров, О влиянии корневых выделений травянистых растений на семена древесных растений, М., 1950. ² Т. И. Голомедова, Агробиология, № 2 (1954).
- ³ Г. Грюммер, Взаимное влияние высших растений — аллелопатия, М., 1957.
- ⁴ С. С. Рубин, Н. Е. Попова, А. Ф. Данилевский, Н. К. Корзунецкая, Лесное хозяйство, № 1 (1952). ⁵ В. Н. Сукачев, Бот. журн., № 4 (1956).
- ⁶ С. И. Чернобрювченко, Биологическая роль растительных выделений и межвидовые взаимоотношения в смешанных посевах, М., 1956.

О. П. КУЛАКОВСКАЯ

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ЦЕСТОДЫ *BATHYBOTHRIUM RECTANGULUM* В ОРГАНИЗМЕ УСАЧА В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 13 X 1958)

Bathybothrium rectangulum — специфичный паразит кишечника усача обыкновенного (*Barbus barbus* L.) и усача балканского (*Barbus meridionalis petenyi* Heck.). Это крупные цестоды из отряда Pseudophyllidea.

По литературным данным⁽⁵⁾, паразит распространен в реках Западной Европы. В СССР встречается в усачах некоторых рек западных областей Украины: в горных участках бассейна Днестра, в Пруте, а также в водоемах Закарпатья, входящих в состав бассейна Дуная. Восточнее Днестра *B. rectangulum* неизвестен.

В ихтиопаразитологической литературе^(1-4,6) описана лишь систематика и анатомия паразита; биология его еще почти не изучена. Неизвестен также цикл развития этой цестоды.

В настоящей работе освещаются отдельные стадии развития *B. rectangulum* в организме рыбы в зависимости от сезона года. Разные стадии развития паразита очень различны по внешнему виду и по внутреннему строению. Фурман⁽²⁾, исследуя две различные стадии, вначале ошибочно думал, что имеет дело с разными видами.

Заражение усачей *B. rectangulum* начинается в конце июня — июле. Уже во второй половине июня в среднем течении Днестра, где хорошо прогревается вода, в кишечнике усачей встречаются личиночные стадии — сколексы паразитов (рис. 1). Размеры их: длина 1—1,5 мм, ширина около 1 мм. В участках реки, расположенных выше в горах, где температура воды ниже, мы находили личинок на стадии сколекса в конце июля (р. Стрый), а в Закарпатье (р. Тисса) — 7 августа. В процессе развития паразита от заднего конца сколекса постепенно нарастает стробила и в конце августа и в сентябре встречаются формы длиной до 1 см. На сколексе имеются две ботрии на всю его длину. Сбоку голова имеет стреловидную форму (рис. 2а). Само тело червя на этой стадии значительно уже головы.

На протяжении осени и зимы паразит растет в кишечнике хозяина и к концу февраля — в марте уже встречаются черви длиной 4,5—5 см и больше. Ширина стробилы их 1—1,2 мм. На этой стадии развития происходит закладка половых комплексов (рис. 2а), соответствующих будущим сегментам. Нарастание члеников происходит от сколекса: возле головки мы видим членики еще молодые, а по мере удаления члеников от сколекса они постепенно созревают. В члениках, близких к сколексу, начинается развитие семенников и циррусной сумки. Позднее, когда членики отодвигаются к заднему концу стробилы, в центральной части каждого членика закладываются женские половые органы. Одновременно развиваются выводящие протоки половых органов (рис. 2б). Расположены они маргинально



Рис. 1. Самая молодая стадия *B. rectangulum*, обнаруженная в кишечнике усача 11 VI. 42×

и открываются нерегулярно справа и слева, несколько спереди от середины края членика. Семенники окружают женские половые органы. В этот же период развиваются желточники, лежащие (в противоположность тому, что имеет место у других ботриоцефалид) полностью в сердцевинной паренхиме и имеющие форму узкой ленты с обеих сторон стробилы. Сегментация стробилы на этой стадии еще не ярко выражена. Последующее половое созревание происходит на протяжении марта, апреля и мая. Половозрелых червей нам удалось обнаружить только четыре раза: 27 V в среднем течении Днестра, в районе г. Ходорова, 26 VI в горном участке р. Прут, около

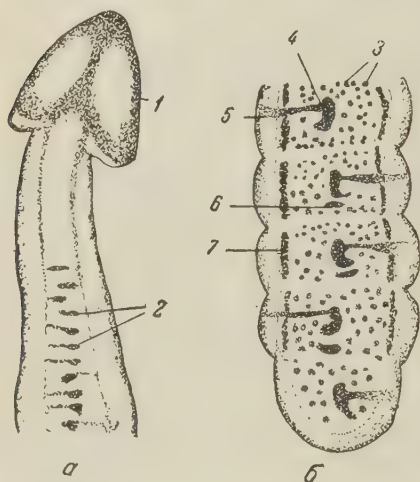


Рис. 2. *B. rectangulum* с зачатками половых органов: а — передний конец, б — задний конец. Март. 1 — сколекс с ботриями, 2 — зачатки половых комплексов, 3 — семенники, 4 — циррусная сумка, 5 — половые выводные протоки, 6 — яичник, 7 — желточники.

18×

ные протоки очень слабо заметны. Матка постепенно разрастается и в последних члениках наполняется яйцами. Яйца на этой стадии еще незрелые. Они несколько меньше по размерам, и в них еще не видно зародышевых крючочков.

В усаках, вскрытых 26 VI из р. Прут, а также 12 и 15 VII из р. Стрый, обнаружены ленточники на еще более поздней стадии развития. В их члениках видна только разросшаяся розетковидная матка, выполняющая всю сердцевинную паренхиму проглотицы (рис. 4). Все остальные органы к этому времени дегенерируют. Матка имеет хорошо заметное круглое отверстие на дорсальной стороне (рис. 4), которое развивается довольно поздно. В некоторых члениках матка сплошь заполнена зрелыми яйцами, в последних члениках стробилы она уже пустая. Нарастания новых члеников от сколекса и закладки половых органов в это время уже не происходит.

Некоторое удлинение стробилы наблюдается за счет разрастания члеников в длину. Молодые членики, расположенные возле головы, не успевают достичь половой зрелости до выхода паразита из кишечника рыбы. Ближайшие членики, в матке которых отмечены яйца, находятся на расстоянии 6—7 мм от головы.

Зрелые яйца *B. rectangulum* имеют овальную форму, несколько заострены на одном из полюсов. Размеры их $0,09-0,12 \times 0,06-0,07$ мм, т. е. они значительно крупнее, чем указано у Люэ (4). В яйце виден движущийся зародыш с 3 парами крючьев. Длина крючочков 0,02 мм.

Яремче (9 VII в этом же участке встречались уже личинки нового заражения), 12 и 15 VII в горном участке р. Стрый. Как видно, в июне — июле половозрелые формы *B. rectangulum* попадались лишь в горных участках, где, как уже говорилось, в связи с низкой температурой воды развитие паразитов несколько запаздывает.

Половозрелые стробилы паразитов резко отличаются от молодых форм. У паразита, обнаруженного в мае, наблюдается следующее строение (рис. 3). Членики отделены друг от друга узкой паренхимной зоной, в которой отсутствуют какие-либо органы. Если на прежней стадии членики были короткие и широкие, то на стадии половой зрелости они имеют почти квадратную форму. Желточные фолликулы достигают полного развития. В задней части проглотицы виден яичник, имеющий форму, приближающуюся к бобовидной. Семенники остаются заметными только в передней части проглотицы, т. е. они уже начинают редуцироваться. Половые вывод-

Анализируя собранные материалы по *B. rectangulum* в разные сезоны года, можно сделать заключение, что жизненный цикл этой цестоды одно-голичен. Весной, в апреле — мае, частично в июне, цестоды откладывают яйца, после чего сами гибнут и выбрасываются из кишечника рыбы (за исключением отдельных особей, запоздавших в своем развитии в условиях горных участков рек). В летние месяцы, в конце мая — июне, червей почти не встречается, заражение усачей резко падает и доходит до нуля. В июне, июле, частично августе развитие гельминта происходит, по-видимому, в организме промежуточного хозяина, который пока нам неизвестен. (В доступной нам литературе никаких сведений по этому вопросу также



Рис. 3. Членики *B. rectangulum* с развитыми желточниками, яичником и маткой. Май. 1 — семенники, 2 — яичник, 3 — желточники, 4 — матка. 18×

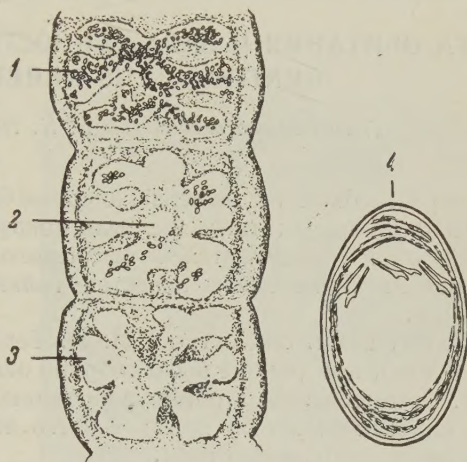


Рис. 4. Членики *B. rectangulum* с развитой розетковидной маткой. Июнь — июль. 1 — матка, заполненная яйцами, 2 — матка без яиц, 3 — отверстие матки, 4 — яйцо с зародышем и крючками. Членики 18×, яйцо 210×

не найдено.) Во второй половине лета усачи заражаются новым поколением паразитов. Иногда первое заражение происходит очень рано, в июне — июле, когда еще не отошли последние половозрелые особи прежнего поколения. В таком случае мы встречаем в один и тот же период единичные оставшиеся половозрелые экземпляры совместно с личиночными стадиями нового заражения. В течение осени и зимы паразиты растут в организме рыбы и на весну следующего года становятся половозрелыми.

Безусловно, в других гидрологических условиях возможны сдвиги отдельных стадий развития в ту или другую сторону.

Львовский научно-природоведческий музей
Академии наук УССР

Поступило
13 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. М. Diesing, Systema helminthum, 2, Vindobonae, 1851. ² O. Furmann, Cbl. Bact., 19 (1896). ³ M. Lühe, Verhandl. deutsch. zool. Gesellsch., 1899. ⁴ M. Lühe, Die Süßwasserfauna Deutschlands, H. 18, 1910. ⁵ А. П. Маркевич, Паразитофауна пресноводных рыб Украинской ССР, 1952. ⁶ F. Matz, Arch. f. Naturgesch., 1892.

А. Н. СКРЫННИК

МЕСТА ОБИТАНИЯ И ЗАРАЖЕННОСТЬ СПИРОХЕТАМИ КЛЕЩЕЙ *ORNITHODORUS NEREENSIS* PAVL.

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 21 III 1959)

Клещи *Ornithodoros nereensis* впервые были найдены в 1931 г. и описаны Е. Н. Павловским⁽¹⁾; тогда же было показано, что этот вид может передавать спирохет — возбудителей клещевого возвратного тифа. До настоящего времени *O. nereensis* известен только из Кара-Калинского района Туркмении.

В 1951 г. нами, совместно с И. К. Теравским и В. П. Скворцовым, в Кара-Калинском районе было собрано около 5000 иксодовых и аргасовых клещей. *O. nereensis* был обнаружен только в 9 норах (норах черепах, песчанок, пластинчатозубых крыс) — всего 466 клещей; часть из них оказалась зараженной спирохетами.

При лабораторном содержании некоторые клещи оставались живыми до 5 лет. Опыты по заражению *O. nereensis* спирохетами, выделенными от *O. papillipes*, и попытки заразить 7 других видов *Ornithodoros* (*O. papillipes*, *O. tartakovskyi*, *O. verrucosus*, *O. moubata*, *O. hermsi*, *O. lahorensis*, *O. canestrinii*) спирохетами, выделенными от *O. nereensis*, дали отрицательный результат. В тех же условиях *O. nereensis* легко заражались и передавали «своих» спирохет. Это свидетельствовало о том, что *O. nereensis* передают особых, специфичных для них, спирохет. После специального изучения О. В. Смирнов⁽⁴⁾ пришел к заключению о видовой самостоятельности этой спирохеты и назвал ее *Spirochaeta (Borrelia) nereensis* sp. n.

Осенью 1958 г. нами у поселка Непе (окрестности Кара-Калы) осмотрены 260 нор, из них в 53 (20%) обнаружены клещи рода *Ornithodoros*. За поселком расположен неглубокий овраг; склоны его пологие. С одной стороны к оврагу почти вплотную подходят жилые дома, около них вдоль оврага протекает арык. На дне оврага пробиваются небольшие роднички, которые все же настолько увлажняют почву, что здесь растет камыш и местами образуются небольшие стоячие водоемы. Оба склона оврага покрыты каменистыми россыпями; местность вокруг оврага холмистая — это уже предгорья Колет-Дага.

На склонах оврага много черепаших нор, при их обследовании в 24 норах собраны 842 клеща *O. tartakovskyi*. В 10 из этих нор в момент обследования сидели черепахи. Неоднократно мы находили черепах с присосавшимися на их шею *O. tartakovskyi*; связь клещей этого вида с черепахами отмечалась и ранее.

Своеобразными оказались биотопы *O. nereensis*; только два раза клещи были обнаружены нами в обычных небольших норах на склоне оврага (рис. 1). Е. Н. Павловский⁽¹⁾ и М. В. Пospelова-Штрот⁽²⁾ отмечают, что одним из биотопов *O. nereensis* являются норы под камнями; но такие норы, доступные для обследования, попадались нам редко, и вначале мы почти не находили *O. nereensis*. Затем было обращено внимание на узкие

и, казалось бы, неглубокие щели, которые имелись под некоторыми крупными камнями. Взять субстрат из таких щелей даже самой маленькой (9×13 см) лопаткой не удавалось, для этого пришлось сдвигать камни с места. Некоторые камни были настолько крупными, что сдвинуть их одному или двум человекам было бы невозможно на ровном месте, но на склонах это удавалось.

Под камнями иногда была лишь небольшая ямка с рыхлым субстратом, или же щель вела в узкую, но глубокую нору (рис. 2). И в том, и в другом случае под камнями часто попадались клещи *O. pereensis*. Субстрат в этих норах был более влажным, чем в норах на окрестных холмах, свидетельством чему служило наличие в некоторых норах мокриц, которые вместе с другими аргасовыми клещами не встречаются.

Клещи *O. pereensis* на всех фазах развития были найдены в 27 норах под камнями, в 11 из них сидели зеленые жабы (*Bufo viridis* Laurentis), иногда по 2—3 в одной норе. Большинство клещей находились в тех участках нор, где располагались жабы. Снаружи на камнях часто можно было видеть ящериц — круглоголовок и сцинков.

В 1956 г. в Азербайджане мы с Н. А. Филипповой⁽⁶⁾ впервые нашли места массового обитания клещей *O. alactagalis*, — там норы с клещами также располагались на склонах оврага с влажным дном, и в норах часто попадались зеленые жабы. Очевидно, у клещей *O. alactagalis* и *O. pereensis* помимо морфологического сходства имеются общие экологические особенности.

Количество *O. pereensis* в отдельных норах колебалось от единичных до 400. Всего за 8 дней, когда обследовались убежища под камнями, было собрано 2826 нимф, самцов и самок *O. pereensis*.

Следовательно, норы под камнями, при наличии вблизи водоемов, являются биотопами, характерными для *O. pereensis*, жизненный цикл которых в какой-то мере связан с жабами, а возможно — и ящерицами. Вместе с *O. pereensis* встречались единичные иксодовые клещи родов *Haemaphysalis* и *Rhipicephalus*; ни одного аргасового клеща другого вида мы не нашли. Во время обследования нор неоднократно приходилось снимать с рук присосавшихся *O. pereensis*, но по сравнению с *O. papillipes* и *O. verrucosus* они нападают на человека менее активно.

При обследовании оврага за поселком Нере мы наблюдали ярко выраженную приуроченность видов *Ornithodoros* к определенным биотопам. Здесь на протяжении менее 1 км встречаются 3 вида *Ornithodoros*: в норах черепаш — *O. tartakowskyi*, в норах под камнями — *O. pereensis*, а в единственной небольшой пещере, которая имеется на дне оврага, было собрано 207 клещей *O. papillipes*. При таком близком соседстве видов, казалось бы, они могут во время питания на животных переноситься из одного биотопа в другой.

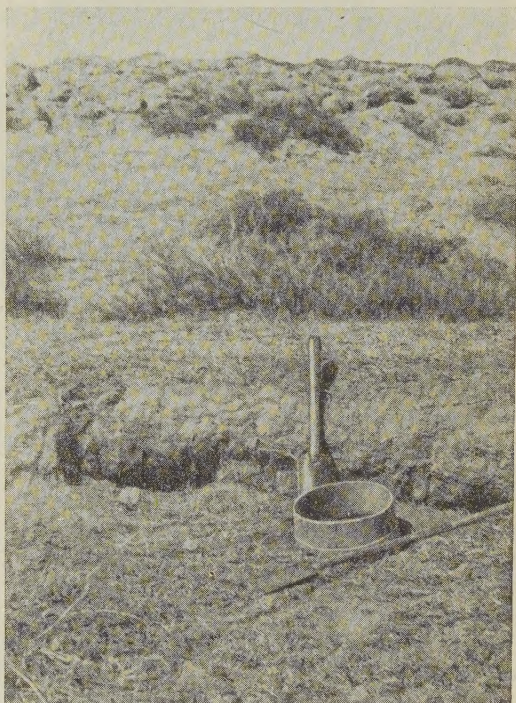


Рис. 1. Норы на склоне оврага с клещами *Ornithodoros pereensis*

Но, очевидно, микроклимат биотопа и посещение его определенными животными ведут к строгому распределению видов по убежищам разного типа.



Рис. 2. Норы под сдвинутым камнем. Биотоп *Ornithodoros pereensis*

Путем кормления на опытных животных установлена высокая зараженность *O. pereensis* спирохетами (табл. 1). На всех животных, кроме жаб, клещи насыщались кровью за 1—1½ часа. На жабах они оставались прикрепленными до 6 суток, большинство клещей полностью насыщалось. При такой продолжительности питания нельзя было применить обычный способ кормления *Ornithodoros*, когда клещи сосут кровь животного, привязанного к станку. Жаб вместе с клещами помещали в матерчатый мешочек*. Впервые использованные нами для кормления в *O. pereensis* хомячки (*Mesocricetus auratus* Water) проявили высокую реактивность к *Sp. pereensis*. Заболевание у хомячков, как и у мышей, длилось около 1 мес., но количество спирохет в их крови было значительно большим; 1 из 5 заболевших хомячков погиб. У подопытных свинок и жаб спирохеты не обнаружены. В опытах, проводившихся нами ранее (5), также не удавалось заразить свинок путем кормления клещей, но они заражались при введении крови больных мышей. О. В. Смирнов (3, 4) тем же способом заражал свинок и кроликов, — спирохетоз у них проявлялся в слабой степени.

Полученные данные говорят о своеобразии экологии *O. pereensis* (характер биотопов, питание кровью жаб). Выдвигается задача изучения географического распространения *O. pereensis* и выяснения их значения в поддержании природных очагов клещевого спирохетоза, с учетом возможной роли холоднокровных животных.

Военно-медицинская академия
им. С. М. Кирова

Поступило
12 III 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Н. Павловский, ДАН, 31, 4 (1941). ² М. В. Поспелова-Штром, Клещи-орнитодорины и их эпидемиологическое значение, 1953. ³ О. В. Смирнов, Особенности спирохетозов, передаваемых норowymi клещами Средней Азии, Диссертация, Л., 1955. ⁴ О. В. Смирнов, Мед. журн. Узбек., 5 (1958). ⁵ А. Н. Скрынник, Тез. докл. 8 совещ. по паразитол. пробл., 1955. ⁶ А. Н. Скрынник, Н. А. Филиппова, Паразитол. сборн. Зоол. инст. АН СССР, 1958, 18, стр. 5.

* Следует иметь в виду, что напивавшихся клещей необходимо своевременно вынимать, так как ползающих по мешочку клещей жаба поедает; последнее обстоятельство следует учитывать при выяснении возможной роли жаб в циркуляции спирохет в природе.

Таблица 1

Результаты проверки клещей *O. pereensis* на естественную зараженность спирохетами возвратного тифа

Вид животного	Число накормл. клещей	Число использов. животн.	Число заболевш. животн.
Белые мыши	271	9	6
Золотистые хомячки	385	6	5
Морские свинки	275	3	0
Серые жабы	47	2	0
Всего . . .	978	20	11